

土 木 研 究 所 資 料

裏筑波流出試験地調査成果報告書

平成 3 年 3 月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

[Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

裏筑波流出試験地調査成果報告書

水文研究室	室長	益倉	克成
	室長	吉野	文雄※
	研究員	吉谷	純一
	研究員	深見	和彦
		堀内	輝亮
		山邊	満

要 旨

裏筑波流出試験地は昭和44年より水文観測が開始され現在に至るまで継続して調査・研究がおこなわれている。本報告は、当試験地に関する資料、降雨流出特性、蒸発散量の解析結果、流出過程の測定結果、モデルによる解析結果についてとりまとめたものである。

キーワード：裏筑波流出試験地、流域資料、降雨流出特性、分布型流出モデル

※現 先端技術開発研究官

まえがき

裏筑波流出試験地は、昭和44年に観測が始められ、既に20年間以上の観測が実施され、長期にわたる、貴重なデータが収集されて来た。

これらの観測は、今後とも、山地流域における洪水及び低水流出に関する基礎調査を進めることを目的として観測を続行する予定である。

この試験地は、その流域に風化した花崗岩、斑岩の類が多く見られ、非常に雨水の浸透性に富んだ地質であり、従って、比較的洪水流出量が小さく、低水流出量が多いという特徴を有している。また、地域内には道路がわずかにあるのみで、流域の大部分が森林で覆われており、民家等はなく、概ね自然状態のままの流域である。

試験地の設立、及びその後の維持管理、資料整理などに努力された水文研究室の諸先輩方に深く謝意を表す。また、試験地の設立に際しては、茨城県真壁町役場建設課及び東京営林局笠間営林署の方々に多大な御協力をいただいた。記して謝する次第である。

本報告は、このようなデータから得られた成果を、昭和44年から平成2年までの約20年間にわたり、とりまとめたものであり、全体で5章からなっている。

第1章では、観測及び解析の経緯について述べ、第2章では、試験地の諸特性について詳細に記述し、第3章及び4章では、データの整理とこれにより約20年間のデータの統一的な解析を行っている。また、我々水文研究室は、裏筑波流出試験地のデータの蓄積により新しい事実の解明、新しい水文解析手法の開発など大きな思恵を受けており、本試験地は我々にとっていわば、水文研究のふるさととも言えるものである。この観点から、最近我々が取り組んでいる分布モデルによる解析を、特に第5章に記載した。

なお、本報告のとりまとめに当たっては、本試験地の設置に努力された青木佑久河川部長の貴重な示唆を頂いた。本報告が水文学の発展に少しでも役に立てば幸いである。

平成3年3月

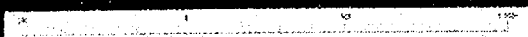
建設省土木研究所

河川部水文研究室

裏筑波流出試験地空中写真



凡 例	
	流 域 界
◎	雨 量 観 測 所
○	水 位 ・ 流 量 観 測 所



撮影年月日 昭和61年10月20日

目 次

まえがき

第1章 流出試験地の歴史	1
1.1 流出試験地とは何か	1
1.2 裏筑波流出試験地の課題	1
第2章 試験地の諸特性	4
2.1 流域概要	4
2.1.1 地 形	4
2.1.2 地 質	4
2.1.3 土地利用	5
2.1.4 表層土壌	5
2.2 観測網とその変遷	5
2.3 観測項目	5
2.3.1 雨量観測	5
2.3.2 流量観測	6
2.3.3 小流域における流出量、湧水量、土壌吸引圧等の観測	8
2.3.4 水質調査	9
第3章 観測結果	27
3.1 長期降雨流出特性	27
3.1.1 年降雨特性	27
3.1.2 年流出特性	27
3.1.3 年降雨量と年流出量	27
3.1.4 年間水収支	28
3.2 蒸発散量	28
3.2.1 ラインメータと経験式	28
3.2.2 晴天時における山口の流量変動	28
3.2.3 蒸発散量の推定	28
3.3 短期流出特性	42
3.3.1 洪水流出率、流出係数の計算方法	42
3.3.2 解析結果	43
3.4 表面流発生量の現地観測	82
3.4.1 観測域の概要	82
3.4.2 観測方法	82
3.4.3 観測結果	82
3.5 山地小流域における降雨流出現象の現地観測	82

3.5.1	観測域の概要	82
3.5.2	観測方法	83
3.5.3	観測結果	83
3.6	まとめ	85
第4章	流出特性の解析	91
4.1	日流量解析	91
4.1.1	モデルタイプ	91
4.1.2	降雨の与え方	91
4.1.3	蒸発散量の推定	91
4.1.4	適応結果	91
4.2	洪水流量解析	104
4.2.1	モデルの概要	104
4.2.2	貯留関数法による解析	105
4.2.3	等価粗度法による解析	120
4.3	まとめ	121
第5章	分布型流出モデルによる解析	131
5.1	はじめに	131
5.2	分布型流出モデルの特長	131
5.3	分布型流出モデルの概要	131
5.3.1	デジタルマッピング	132
5.3.2	モデルの構成	132
5.3.3	計算方法	134
5.3.4	パラメータの設定方法	134
5.3.5	降雨分布の与え方	134
5.3.6	蒸発量	135
5.4	分布型流出モデルの適用	135
5.4.1	モデル係数の同定	135
5.4.2	計算結果	136
5.5	まとめ	136

第1章 流出試験地の歴史

1・1 流出試験地とは何か

“流出試験地”は、河川管理のための観測に対して、広い意味で調査・研究を目的として観測する流域を指して用いられているようであるが、実際には試験するしないにかかわらずさまざまな目的のために設置された観測流域を総称している。

世界で最初にこの種の研究がなされたのは、森林学者による森林理水試験である。その研究目的は、森林が持つ洪水の緩和・流況の安定・土砂流出抑制などの理水機能を試験することであった。代表的な試験方法は、流域面積数haの類似する森林小流域を2つ選びしばらく流量観測をした後、一方の流域の森林を伐採し、流量の変化を調べる方法である。ちなみに森林伐採と流量に関する最初の試験はアメリカで1910年に開始された（森林水文学、中野秀章）という古い歴史を持っている。

建設省における流出試験地は森林理水試験とは全く異なった目的で始められた。建設省が最初に設置した試験地は、利根川支川の神流川の若泉、流域面積373.6平方キロメートルである。観測は昭和23年から35年まで13年間行われた。当時は合理的な河川計画を策定できるだけの手法がないばかりでなく、それを調査するための水文観測資料もなかった。神流川に試験地を設けたのは、昭和22年9月のカスリーン台風等の大水害に対して利根川の流域のうち1支川においてでも正確なデータがあれば水害の解明に役立つところは大きいと考えたため（流出試験地調査成果報告書、昭和50年）である。このような試験地のもつ意義は、“指標流域”である。事実、神流川でのデータは、利根川の流量計画に利用され、さらに計画策定や洪水予測のための流出モデルの開発や雨量計の配置基準の設定等に利用された。

建設省が昭和44年度から河川事業調査として始めた全国流出試験地調査は、主として都市化による流出の変化の解明を目的として設置された。この調査は、森林理水試験と似ているが、森林伐採のように意図的に流域を改変することができないので、開発予定地に試験地を設置し観測を継続する方法がとられた。都市化の問題に関しては、日本最大のニュータウンに設置された多摩ニュータウン流出試験地調査が昭和60年に、全国試験地の調査結果とりまとめは建設省技術研究会で昭和59年に、一応の成果が出されている。現在は、ほ場整備や果樹園開発等の影響調査のための試験地が設置されている。

全国流出試験地は開始当時、ユネスコのIHD（国際水文10年計画）の一貫の調査としても位置付けられた。ユネスコは、代表流域・試験流域に関するガイドブックを作成し、試験流域の調査と普及を図った。このなかには今まで述べた意味での試験流域だけではなく、“ビジル（vigil）流域”、“代表流域”といった意義も含まれている。ビジル流域とは異常を検知するための流域である。たとえば、地殻変動等の予期せぬ理由による流況の変化の検知である。代表流域とは自然状態における特定の水文学的問題のために、その問題について代表性があり流域を選んで研究を進めるような流域をいう。たとえば、第3紀層から成る流域の流出係数の調査や洪水における中間流の役割の調査のため代表的な流域を選んで調査するといった考え方である。

1・2 裏筑波流出試験地の課題

裏筑波流出試験地は昭和44年に観測が開始され、20年余りたった現在も観測は継続されている。

当初、山地流域における洪水流出特性、すなわち流出率、洪水到達時間、流出係数等を調べる目的で観測が継続された。その後、研究の主眼は流出機構の解明に置かれるようになった。降雨による流出は、地表を流れてくるのか、それとも地中を流れてくるのかといった流出経路の問題、地中を流れるのであ

ればその時の降雨が流れ出すのか、それとも地中の古い水が押しだされるのかといった滞留時間の問題である。この流域ではホートン表面流はほとんど発生しないことは観測から明らかにされているが、洪水時に降雨が地中のどの部分をどのような速度で移動して洪水波形が形成されるのかについては依然として不明な点が多い。このような流出機構の解明なしには、流出モデルの精度の向上はあり得ないであろう。流出機構の研究は、基礎的ではあるが流出予測の精度向上のためにも推進していく必要がある。なお、山口観測所の堰には切り欠きがつけられ低水時の流量も測定できるようになっているが、長期流出の研究は副次的と位置づけられている。

裏筑波流出試験地で洪水の流出機構の研究を進める際の問題点として、代表性があげられる。ここの地質は風化花こう岩からなり、非常に浸透性に富む流域で、従って表面流は発生しない。ここでの流出機構が他の流域と同じである保証はない。この問題を解決するには、この種の研究が多くの流域を対象として調べられる必要があり、裏筑波での研究はその足がかりである。

参考文献

[流出機構]

- 1) 表層土壌の孔隙特性と中間流の発生機構に関する一考察(解説), 吉野文雄, 土木技術資料25-9, 昭和58年

[UNESCO指針, IHP]

- 1) REPRESENTATIVE AND EXPERIMENTAL BASINS, EDITED BY C. TOEBES AND OURYVAEV, UNESCO, 1970
- 2) 「代表流域・試験流域に関するガイドブック」(ユネスコIHD)抄録, 青木佑久, 土木技術資料13-3, 昭和46年
- 3) ユネスコ国際水文10年計画の代表流域および試験流域における水文学の研究のための東南アジア巡回セミナー, 木下武雄, 土木技術資料14-1
- 4) 水文試験流域と代表流域に関する資料N01-4, 科学技術庁資源局, 昭和41年

[河川事業調査, 全国流出試験地]

- 1) 都市化による流出の変化, 木下武雄, 土木技術資料9-9, 昭和42年
- 2) 流出試験地調査の現状と方針, 木下武雄, 土木技術資料15-2, 昭和48年
- 3) 建設省における流出試験地 第1報 観測網, 建設省土木研究所, 昭和47年11月
- 4) 流出試験地調査成果報告書, 建設省河川局・土木研究所, 昭和50年1月
- 5) 流出試験地調査成果報告書(その2), 建設省河川局・土木研究所, 昭和51年6月
- 6) 流出試験地調査成果報告書(その3), 建設省河川局・土木研究所, 昭和52年5月
- 7) 流出試験地調査成果報告書(その4), 河川局治水課・土木研究所, 昭和55年3月
- 8) 全国流出試験地調査中間報告, 青木佑久・石崎勝義・岸井徳雄, 土木技術資料21-8, 昭和54年
- 9) 流出・流下形態の変化に伴う洪水被害軽減対策に関する研究, 第38回建設省技術研究会 河川部門指定課題, 昭和59年
- 10) 都市流出モデルのパラメータ標準化と評価, 吉野文雄・吉谷純一・堀内輝亮, 第29回水理講演会

論文集，昭和60年2月，p 13-18

11) ESTIMATION OF RUNOFF CHANGES DUE TO URBANIZATION IN JAPAN, FUMIO YOSHINO & JUNICHI YOSHITANI, FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, JULY 23-27, 1990, JAPAN

〔多摩ニュータウン流出試験地〕

1) 多摩ニュータウン試験地水文観測資料(その1-3), 土木研究所資料第2225号, 昭和60年3月

2) 多摩ニュータウン流出試験地調査報告書, 都市水文学研究会, 1986年3月

3) 多摩ニュータウンにおける流出変化に関する研究報告, 都市水文学研究会, 土木学会論文集 第375号/II-6 1986年11月 p 29-41

4) RUNOFF CHANGES DUE TO LARGE-SCALE URBAN DEVELOPMENT IN TAMA NEW TOWN, COMMITTEE ON URBAN HYDROLOGY, FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, JULY 23-27, 1990, JAPAN

〔森林理水試験〕

1) 水文学講座13 森林水文学, 中野秀章著, 共立出版

〔土木学会全国試験流域調査〕

1) 全国試験流域調査表, 土木学会水理委員会水文小委員会, 昭和60年5月

2) CATALOGUE OF EXPERIMENTAL BASINS IN JAPAN, HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SUBCOMMITTEE, COMMITTEE ON HYDRAULICS, JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, MAY 1985

第2章 試験地の諸特性

2・1 流域概要

裏筑波流出試験地は、茨城県真壁郡真壁町の利根川水系桜川左支川山口川の最上流部、筑波山麓北側斜面に位置する。流域面積は3.12km²、流域平均勾配は等高線延長法によって25°である。流域内は国有林等による森林により覆われた典型的な山地森林流域となっている。図2.1に流域図を示す。

2・1・1 地形

筑波山塊は福島県白河市を北端とし南北方向に連なる八溝山脈の南端部にあたり関東平野に突き出した山塊である。筑波山（標高876m）は地形の侵食輪廻が最も進んでおり、緩やかな傾斜の老年期の地形をしている。

山口川は流域南西部の筑波山山腹斜面、北東部の上曾(ウリ)峠に通じる山腹斜面の水を集めて北西に流れる。裏筑波流域の標高は最高点が筑波山中腹620mで、最低点が山口川流量観測所の142mである。山口川の主流路長は2.4km、主流路平均勾配は1/13で流路延長は14.8kmに及ぶ。

2・1・2 地質

筑波地方の主要な岩石は八溝山系の古期堆積岩類、筑波変成岩類、花崗岩類である。そのほかにガブロ類や安山岩が小規模に露出している。

高橋¹⁾の調査によると、八溝山系の古期堆積岩類は砂質岩及び泥岩質からなり石灰岩、チャートを伴い、上部ジ1系²⁾の化石を産出する。筑波地方の花崗岩類と接する付近の古期堆積岩類はNE-SWの方向でN40°～60°の傾斜をもち、しばしば逆転構造が認められている。

筑波変成岩類は筑波山の南部に分布し、泥岩及び砂岩を原岩とし紅柱石-珪線石で特徴づけられる高温低圧型の変成岩類でE-WないしNE-SWの方向で逆転構造や向斜及び背斜構造が認められる。筑波変成岩類中の黒雲母のK-Ar年代は60m.y前後である。

花崗質岩類は筑波地方で最も広く分布し八溝山系の古期堆積岩類や筑波型変成岩類を貫き、これに接触変成作用を与えている。これら花崗岩類のK-Ar年代は60m.y前後で筑波変成岩類のそれとほぼ一致する。これらの花崗岩は大きく分けて筑波型と稲田型に大きく分けられる。前者は粗粒、後者は細粒の鉱物からなる。前者は筑波山の東南に分布し後者は北部に分布している。

以上の岩石のほかに花崗質岩類の捕獲石と考えられるガブロ類が筑波山頂に分布する。また、小規模な中新世の安山岩岩脈が筑波変成岩類南端に分布する。図2.2に筑波地方の表層地質図を示す。

裏筑波流域内の地質は、流域最高部の筑波山中腹付近は斑れい岩、その下部は岩屑が地表を覆い、流域上部は筑波型花崗岩、流域下部は稲田型花崗岩が分布している。これら花崗岩のうち谷底河床付近には新鮮な岩の露頭がみられるものの、流域の大部分の花崗岩は著しい風化を受けマサ化している。

試験地流域内において昭和47年12月に4本の標準貫入試験を併用した機械ボーリングによる地質調査を行った。調査地点は山口観測所より上流300mの左岸側尾根部である。地質調査の結果より、当流域の地質は下記の五つの層に区別される。

- ①表土層 ローム質土からなり、草木根が混じり表土層化したもので、色調は黄褐～暗褐色。
- ②第一風化層 花崗岩の強度に風化したものと考えられ、採取されたコアは砂質粘土状で、採取率も100%近い。N値は5～20の周囲に分布している。
- ③第二風化層 第一風化層前の過程と考えられ、花崗岩の形態を保っているが、風化によって鉱物粒子間の結合力が弱くコアチューブの回転により容易に破壊される。資料採取率は0%である。N値は20～50以上。

④第三風化層 第二風化層前の過程で固結度が第二風化層より高い。採取されたコアは破壊されない部分のみがレキあるいは玉石の形で採取される。N値は貫入不能の状態か1~2cm(50回打撃)である。

⑤花崗岩 山口川河床にみられるような新鮮な花崗岩

図2.3に地質縦断図を示す。風化花崗岩層は高度がたかくなるに従って風化度がまし層厚が増していることがわかる。

2・1・3 土地利用

流域内は山口川本川に沿って県道が縦断しているが、民家や耕地も無く、流域内は森林によって覆われており、森林の65%は国有林である。

流域内の県道月岡~真壁線の舗装工事は1972年~1973年に下流側から施工され、林道上曾峠~湯袋峠は1971年~1973年に開削され1978年に舗装が施された。地形図(1/1000)より流域に占める道路舗装面積の割合を求めると、県道は0.03%、林道は0.27%に当たる。同様に流域平面図より河道面積を推定すると19haで流域面積の0.60%にあたる。

国有林の植生は、笠間営林署による調査資料(1989年3月31日現在)によると、流域内の国有林は植林による針葉樹(林令4~89年)がほとんどで、天然の針葉樹、広葉樹は少ない。植生の割合はスギが26%、ヒノキが32%、アカマツが38%でそのほかの数%はクヌギ、コナラ等の広葉樹となっている。図2.4に国有林の植生図を示す。図中の空白の部分の部分は民地の森林であるため正確な植生は把握できないが、現地踏査などの結果より概ね針葉樹であると思われる。

2・1・4 表層土壌

表層土壌特性を調べるため現場単位体積重量試験(突き砂置換法)及び室内土質試験(比重試験、含水量試験、粒度試験、透水試験(変水位))を行った。

調査地点は祖父ヶ峰左岸の小沢流域の山腹斜面表層部(図2.5)で、土質サンプリングは3地点において行い採取深度は30cmである。試験結果を表2.1及び表2.2に示す。

地盤の乾燥密度は0.720~0.937の範囲を示し、粒度特性は砂質分が71.9%粘性土分が28.1%の、粒度の良い火山灰質砂の土壌である。透水係数は $1.70 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ と表層土壌としては一般的な値である。

2・2 観測網とその変遷

当試験地の観測は昭和44年よりスタートし現在に至るまで継続的に観測がおこなわれている。開局当時は流量観測所を2ヶ所、雨量観測所を3ヶ所設置するという観測網でスタートした。雨量観測所については、観測所周辺の樹木の繁茂による観測状況の悪化から観測の中断をしいられたり観測地点の変更を行い現在に至っている。又、これらの継続的な観測以外に、小流域において表面流、土壌吸引圧、地下水、などの観測や水質調査などが行なわれており多岐にわたる観測データが収集されている。

表2.3に観測期間一覧表を示す。

2・3 観測項目

2・3・1 雨量観測

雨量観測には受水口径200mmの0.5mm転倒升自記雨量計を用い観測を行っている。

なお冬期はヒータ電源が採用できない事から雨量計貯水タンクが凍結したり、受水口に積雪が残るなど観測に支障をきたし、十分な観測精度が得られないこともある。

1) 祖父ヶ峰雨量観測所

位置 観測開始当初は祖父ヶ峰流域中腹に設置したが、1975.4.15祖父ヶ峰流量観測所地点に移設（図2.6）

標高 205m

観測期間 1969.10.14～現在

観測方法 ①1969.10.14～1975.4.15
0.5mm転倒升自記雨量計

②1975.4.15～現在
0.5mm転倒升雨量計＋水研62式自記水位計（祖父ヶ峰水位と同軸記録）

③1989.4.26～現在
0.5mm転倒升雨量計＋データロガー

2）土俵場雨量観測所

位置 裏筑波キャンプ場より北東約400m（図2.7）

標高 495m

観測期間 1969.10.18～現在

観測方法 ①1969.10.18～1989.4.20
0.5mm転倒升自記雨量計

②1989.5.10～現在
0.5mm転倒升雨量計＋データロガー

3）上本社

位置 県道月岡真壁線より祖父ヶ峰流量観測所への入口の右岸側（図2.8）

標高 184m

観測期間 1969.5.16～1982.11.19

観測方法 0.5mm転倒升自記雨量計

4）北本社

位置 県道月岡真壁線より祖父ヶ峰流量観測所への入口の左岸側（図2.9）

標高 186m

観測期間 1982.11.19～1984.7.30

観測方法 0.5mm転倒升自記雨量計

2・3・2 流量観測

流量観測は以下に示す山口観測所及び、祖父ヶ峰観測所において行われている。

山口流量観測所は、裏筑波流出試験地流域末端に設けられた観測所であり、祖父ヶ峰流量観測所は山口流量観測所上流550mの右岸側支川に位置する観測所である。

両観測所とも堰による流量観測を行っている。しかし、堰による流量観測方法は沈砂槽への土砂の堆積及び流木等の引っかかりによる観測精度低下の問題がある。当試験地は土質が風化花崗岩主体であるために土砂流出量が多く、そのため年4～5回の土砂排除作業を行い観測精度の維持に勤めた。

1）山口流量観測所

目的 山地流域からの流出特性調査

位置 裏筑波流出試験地流域末端（図2.10）

流域面積 3.21km²

流路延長 14.8km

平均勾配 約25°

標高 142m~664m

土地利用 スギ、アカマツ、ヒノキを主とする人工林

観測期間 1969.6.6~現在

観測方法 複断面四角堰からの越流水深を水研62型水位計（3カ月巻）を用いて自記記録を行った。
水位から流量への変換は以下に示す沖公式により行った。

・複断面四角堰（刃形堰）

水位：0.000 ~ 0.300 m 切欠き幅：0.500 m

0.300 ~ 1.70 m 5.000 m

形状は図2.11に示す。

・堰の越流深（H）から越流量（Q）を求める公式

A) $0 < H \leq 0.300$ の範囲

$$C = 1.838 \left(1 + \frac{0.0012}{h} \right) \left\{ 1 - \frac{\sqrt{h/b_n}}{10} \left(1 - \frac{h/b_n}{10D_n} \right) \right\} \\ \times \left[1 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{b_n h}{B(h + D_n)} \right\}^2 \right]$$

$$Q = C b_n h^{\frac{3}{2}}$$

沖公式による。各記号の定義は水理公式集昭和46年改訂版 p.255図2.2に同じ。

$b_n = 0.5$, $D_n = 0.3$, $B = 5.8$, $h = H$ である。m - sec 単位。

B) $0.300 < H < 1.70$ の範囲

$$h_D = H - 0.3$$

$$C = 1.838 \left(1 + \frac{0.0012}{h_D} \right) \left\{ 1 - \frac{\sqrt{h_D/b_B}}{10} \left(1 - \frac{h_D/b_B}{10D_B} \right) \right\} \\ \times \left[1 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{b_B h_D}{B(h_D + D_B)} \right\}^2 \right]$$

$$Q = C b_B h_D^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3} \times 0.58692 \times b_n \sqrt{2g} \left(H^{\frac{3}{2}} - h_D^{\frac{3}{2}} \right)$$

Q式の右辺第1項は沖公式による。各記号の定義はA)に同じ。水位流量曲線を図2.12に示す。

$b_n = 0.5$, $b_B = 5.0$, $D_B = 0.6$, $B = 5.8$ である。m - sec 単位。

・堰の背後の池は約40m²

2) 祖父ヶ峰流量観測所

目的 等価粗度法による流出計算検証

位置 山口流量観測所上流550mの右岸側支線（図2.6）

流域面積 0.158km²

流路延長 1.2km

平均勾配 25°

標高 205m～384m、
 土地利用 スギ、アカマツ、ヒノキを主とする人工林
 観測期間 1969.10.12～現在
 観測方法 直角三角堰からの越流水深を水研62型水位計（1カ月巻）を用いて自記記録を行った。水位から流量への変換は以下に示す式によって行った。堰形状を図2.13に水位流量曲線を図2.14に示す。

$$Q = \left(1.334 + \frac{0.0205}{\sqrt{H}} \right) H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{m} - \text{sec 単位})$$

・堰の背後の池は約10m²

2・3・3 小流域における流出量、湧水量、土壌吸引圧等の観測

降雨時における流出経路推定のため山地小流域である小沢流域、小峰流域において観測を行った。小沢流域は1970.3.35～1971.10.29まで表面流出の観測を行い、1987.7.24からは降雨に伴う流域の変化（地下水位、土壌吸引圧、湧水流量など）について観測を行った。

1) 小沢流域

目的 ①期間1 1970.3.25～1971.10.29
 降雨時における表面流出発生（量）の観測
 ②期間2 1987.7.24～現在
 山地小流域からの降雨時における流出経路の推定

位置 祖父ヶ峰観測所直上流の左支線（図2.15）

流域面積 1ha

流路延長 38m

平均勾配 31°

標高 214m～313m

土地利用 アカマツ、ヒノキを主とする人工林

観測期間 ①期間1 1970.3.25～1971.10.29

②期間2 1987.7.24～現在

観測方法 ①期間1

流域末端の河道部とこれより上流約80mの中腹部の谷筋に小型箱型三角堰を設置し（図2.16）、これより左右両側に山腹最大斜面に沿って集水用の袖板をだして表面流の観測を行った。

②期間2

表2.4に示す観測機器を図2.17のように設置し観測を行った。

2) 小峰流域

目的 山地小流域からの降雨時における流出経路の推定

位置 祖父ヶ峰観測所上流100mの右岸側の湧水地点

流域面積 —

流路延長 —

平均勾配 31°

標高 237m～313m

土地利用 アカマツ、ヒノキを主とする人工林

観測期間 1987.7.10～現在

観測方法 表2.5に示す観測機器を設置し観測を行った。

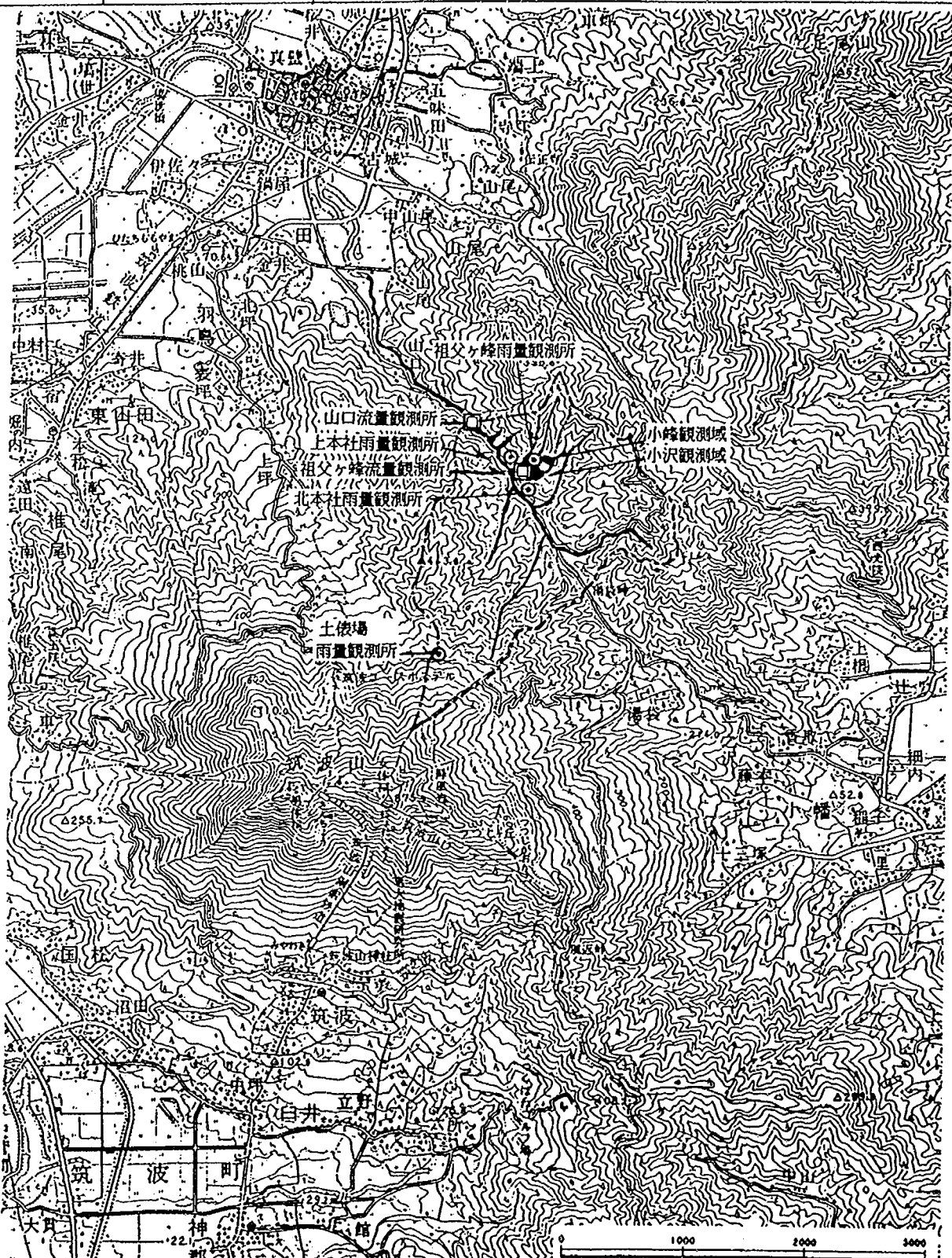
2・3・4 水質調査

水質をトレーサとして用い流出成分の分離を行うため1987年より降雨時の水質調査を行った。サンプリング箇所は、祖父ヶ峰、小沢、小沢湧水N02、祖父ヶ峰降雨の4箇所、分析項目は表2.6に示す。また、平常時における水質のバックグラウンド値を調べるため1988.8.10より週一回の定期サンプリングを行った。

参考文献

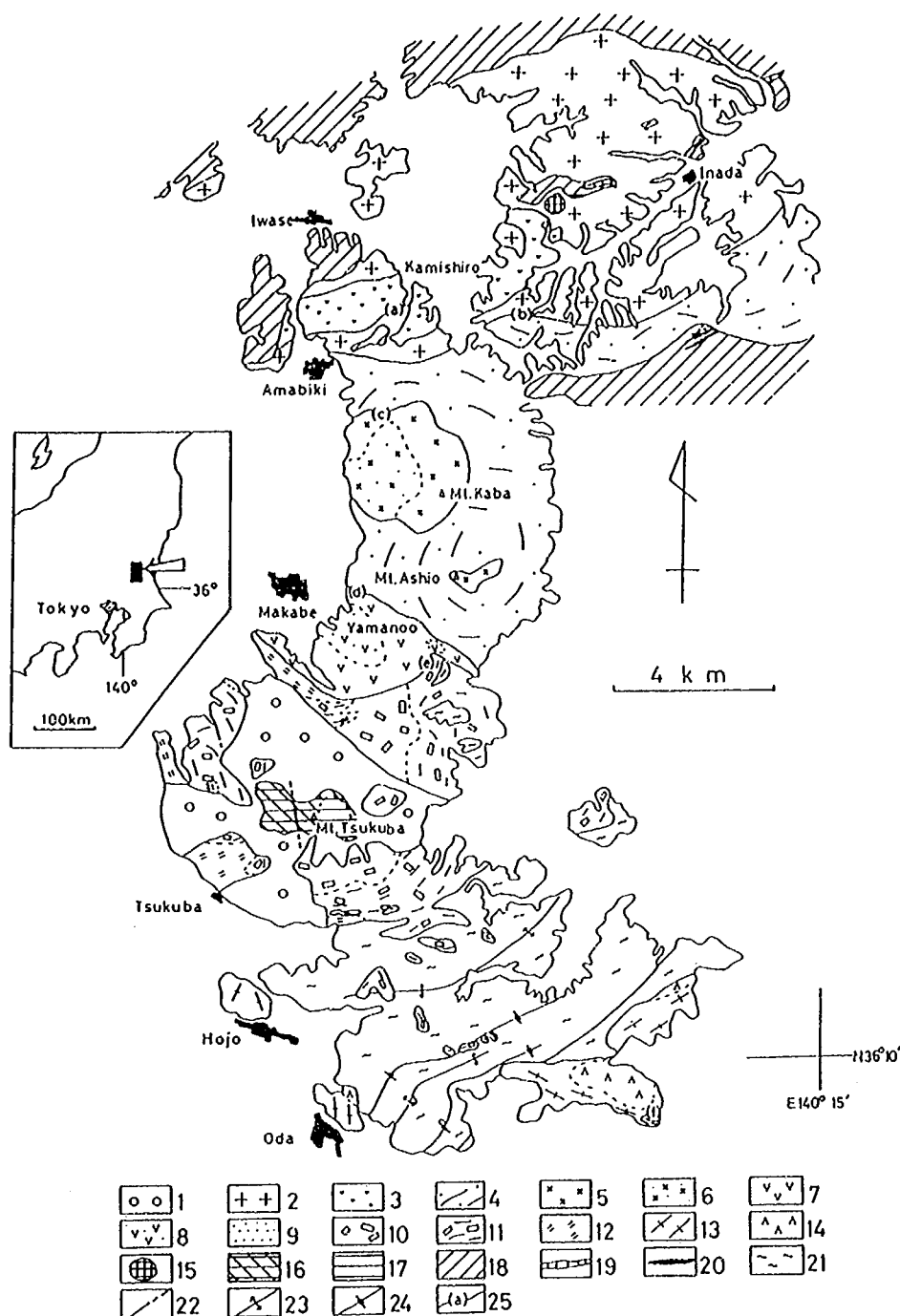
- 1) 高橋裕平：筑波地方の花崗岩類の地質、地質学会誌、第88巻、第3号、PP.177～184、1982.3

水系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川	河川	山口川	観測所
----	--------------------------	----	-----	-----



This topographic map illustrates the Tama River basin (利根川水系) and its left branch (桜川左支川). The map features contour lines representing elevation, with peaks such as 2555.1 and 2526.6 meters. Key locations include 山口 (Yamaguchi), 土俵場 (Tobira-ba), 筑波 (Tsukuba), and 立野 (Tachino). Several observation points (観測所) are marked, including 山口流量観測所 (Yamaguchi flow observation point), 土俵場雨量観測所 (Tobira-ba rainfall observation point), and others. A scale bar at the bottom indicates distances up to 3000 meters.

水研係式 台帳-1



1. 岩屑, 2. 粗粒カコウ岩体, 3. 細粒カコウ閃緑岩体, 4. 中粒カコウ閃緑岩体, 5—6. 加波山細粒カコウ岩体 (5. 細粒カコウ岩, 6. 中粒カコウ岩), 7—8. 山尾細粒カコウ岩体 (7. 極細～細粒カコウ岩, 8. 細～中粒カコウ岩), 9—12. 斑状カコウ閃緑岩体 (9. 侵白質細粒カコウ岩, 10. 斑状カコウ閃緑岩～カコウ岩, 11. 等粒状及び斑状カコウ閃緑岩～カコウ岩, 12. 片状トナル岩), 13—14. 両翼母カコウ岩体 (13. 両翼母カコウ岩, 14. 侵白質カコウ岩), 15. 細粒閃緑岩, 16. ガブロ類, 17. 斜長岩, 18—20. 古期堆積岩類 (18. 泥質及び砂質堆積岩, 19. 石灰岩, 20. チャート), 21. 変成岩類, 22. 断層, 23. 背斜軸, 24. 向斜軸, 25. 第4図のスケッチの位置. 変成岩類中の構造は柴(1979)による.

図 2.2 筑波地方表層地質図

(高橋裕平 1982.3 より)

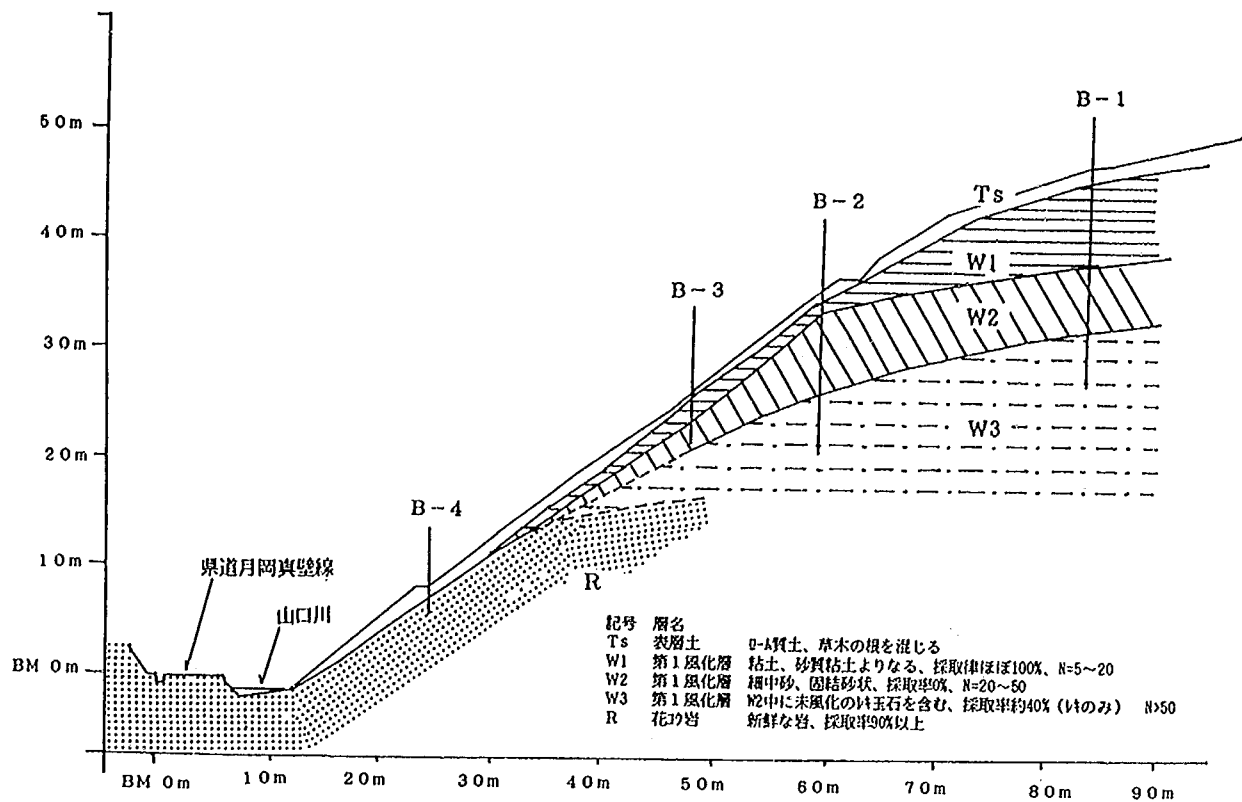


図 2.3 地質縦断面図

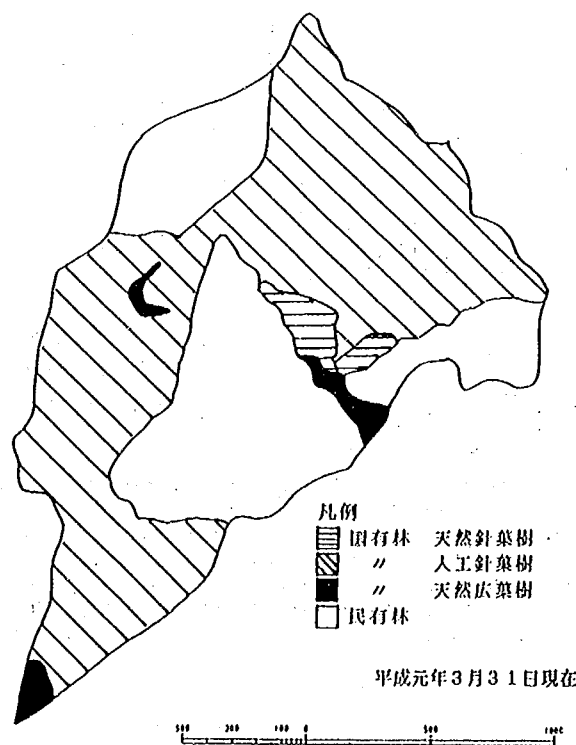


図 2.4 流域内国有林植生図

表 2.1 現場単位体積重量試験調査結果

測定番号	1	2	3
項目			
湿潤密度 ρ_t g/cm ³	0.905	1.213	1.001
含水比 W %	25.7	29.5	25.8
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	0.720	0.937	0.796

表 2.2 室内土質試験調査結果

試料番号		3
粒 度 特 性	礫分 (2000 μ m 以上) %	5.1
	砂分 (74~2000 μ m) %	66.8
	シルト分 (5~74 μ m) %	19.3
	粘土分 (5 μ m 以下) %	8.8
	最大粒径 mm	4.760
	均等係数 U_c	44.3
	曲率係数 U_c	3.3
分 類	日本統一土質分類	SV
	三角座標表示法	SF
自然含水比 W %		28.4
土粒子の比重 G_s		2.597
透水係数 (変水位) K cm/s		1.70×10^{-3}

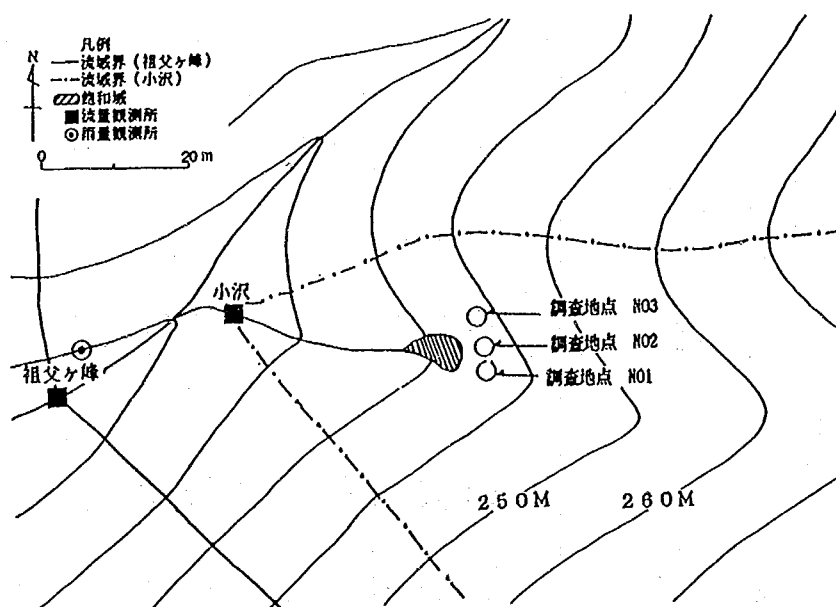


図 2.5 表層地質調査ヶ所

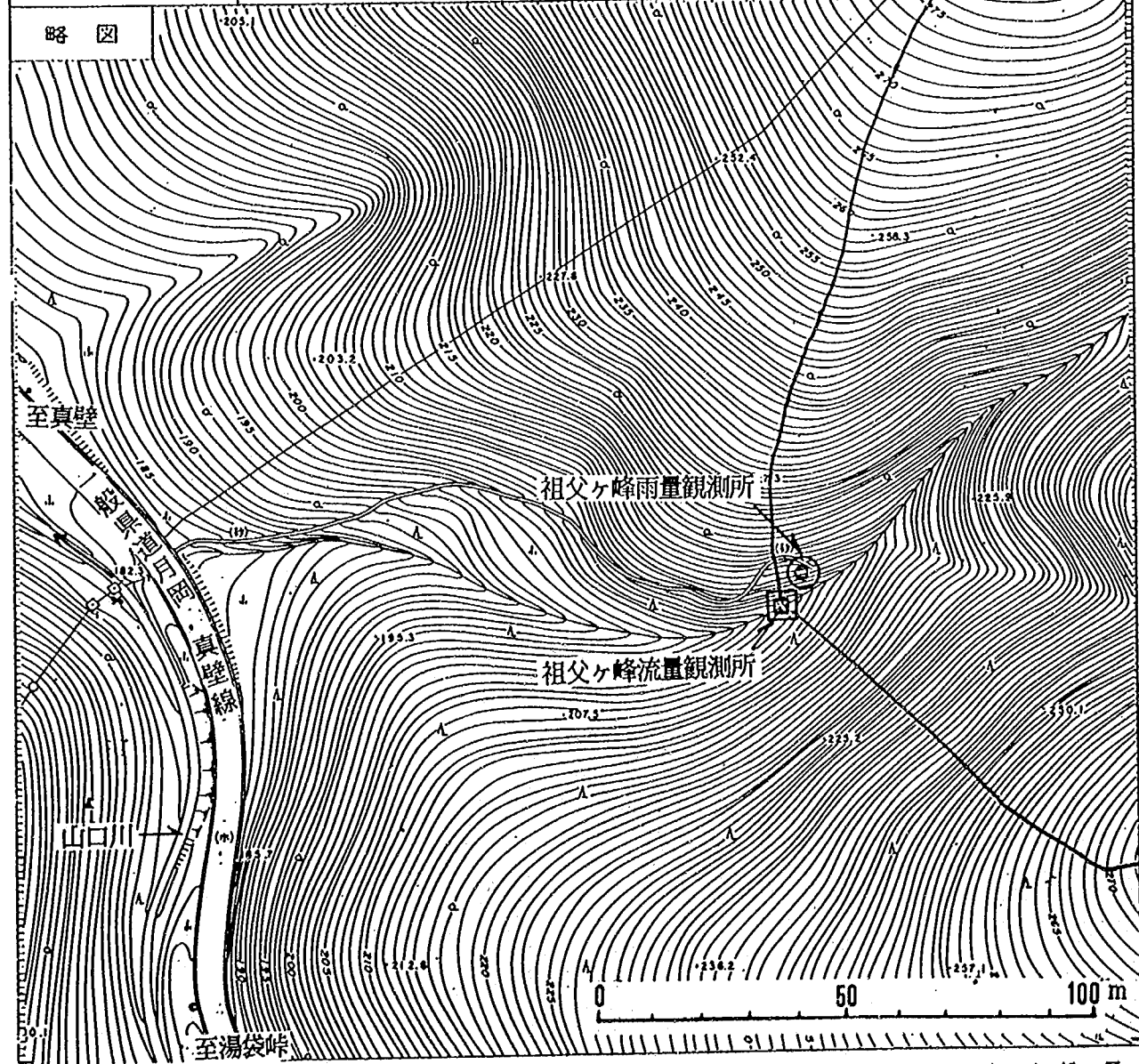
表 2.3 観測期間一覧表

観 測 所			観 測 期 間 西 暦																				観 測 器 機				
			1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988		1989	1990		
裏 築 波 観 測 域	雨 観	祖父ヶ峰	10.14																							0.5mm 転倒升型雨量計+水研62型自記 水位計 (祖父ヶ峰水位に同軸記録)	
	量 測 所	上 本 社	5.18												11.19								4.26			0.5mm 転倒升型雨量計+デ-カ-	
		土 俊 場	10.18																				4.20			0.5mm 転倒升型長期自記雨量計	
		北 本 社													11.19		7.30						5.10			0.5mm 転倒升型長期自記雨量計 0.5mm 転倒升型雨量計+デ-カ-	
流 観 測 域	山 口	8.6																								複断面四角堰+水研62型自記水位計 (3ヶ月巻)	
	祖父ヶ峰	10.12																								90° 三角堰 +水研62型自記水位計 (1ヶ月巻)	
小 沢 観 測 域	流 観 量 測 所	小沢(上流)		3.25	10.29																					30° 三角堰+長期自記水位計	
		小沢(下流)		4.17	10.29																					30° 三角堰+長期自記水位計	
	湧流観 水量測 所	SW NO2																								30° 三角堰+水研62型自記水位計 (1ヶ月巻)	
		SW NO1																								30° 三角堰+水圧式自記水位計 ハ-シアルフェム自記流量計 (1ヶ、一週間巻)	
観 測 域	地水観 測 下位所	GW NO1																								週1回手計り	
		GW NO2																								ハ-シアルフェム自記流量計 (0.5ヶ、一週間巻)	
		GW NO3																								週1回手計り	
	土 壌 吸 引 圧 観 測 所	T1- 20																									リシャル式自記地下水位計 (一週間巻)
		50																									〃
		100																									〃
		T2- 20																									自記テンシオメータ (一週間巻)
		50																									自記テンシオメータ (圧力センサ使用)
		100																									自記テンシオメータ (一週間巻)
		T3- 20																									自記テンシオメータ (圧力センサ使用)
		50																									自記テンシオメータ (一週間巻)
		100																									自記テンシオメータ (圧力センサ使用)
		T4- 20																									自記テンシオメータ (一週間巻)
		50																									〃
		100																									〃
		T4- 20																									〃
		50																									〃
100																									〃		
小 峰 観 測 域	流 観 量 測	小 峰																								150CC 転倒升流量計+デジタ雨量記録器	
土 吸 引 観 測 域	土 吸 引 圧 観 測 域	T小峰-20																								自記テンシオメータ (一週間巻)	
		50																								〃	
		100																								〃	

観測所番号

雨量
水位
観測所位置(そのⅡ)
水位流量

水系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川		河川	山口川	観測所	祖父ヶ峰
位置	茨城 都道府県 真壁 市 真壁 町				大字山尾字祖父ヶ峰 国有林 5ぬ1林小班内	
	左右岸	杆杭	上下	m	所属事務所	建設省土木研究所水文研究室
観測開始年月日	管 通	明大昭	年	月	日	流域面積(km ²)
	自 記	明大昭	44年	10月	12日	河口 合流点
緯 度	北緯	.	.	経 度	東経	.
標高又は 基点高	(m)					205.0
事務所より観測所に 至る間の主要地点迄 の距離又は所要時間						



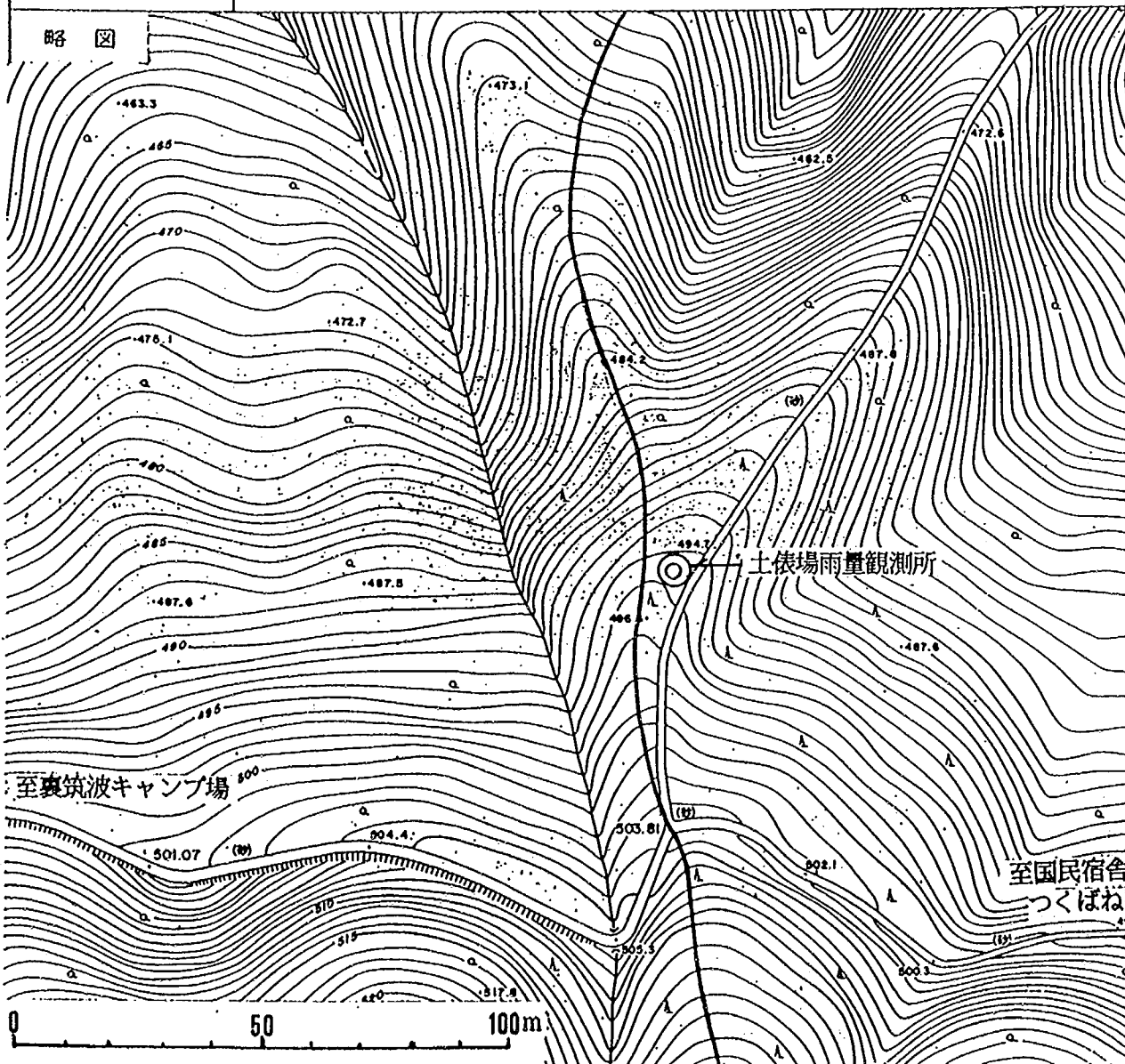
水研様式 台帳-Ⅱ

図 2.6 祖父ヶ峰雨量観測所位置図

観測所番号

雨 量 観 測 所 位 置 (そのⅡ)
~~本 位~~
~~本位流量~~

水 系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川		河 川	山口川	観 測 所	土俵場
位 置	茨城 都道府県 真壁 市 真壁 町 大字羽鳥字土俵場					
	左 岸	杆 杭 上 下		m	所 属 事 務 所	建設省土木研究所水文研究室
観 測 開 始 年 月 日	管 通	明大昭 年 月 日			流 域 面 積 (km ²)	—
	自 記	明大昭 44年 10月 18日			河 口 よ り の 距 離 (km)	—
緯 度	北緯	・ ・	経 度	東経	・ ・	標高又は 等 点 高 (m)
						495.0
事務所より観測所に 至る間の主要地点迄 の距離又は所要時間						



水 研 様 式 台 帳 -Ⅱ

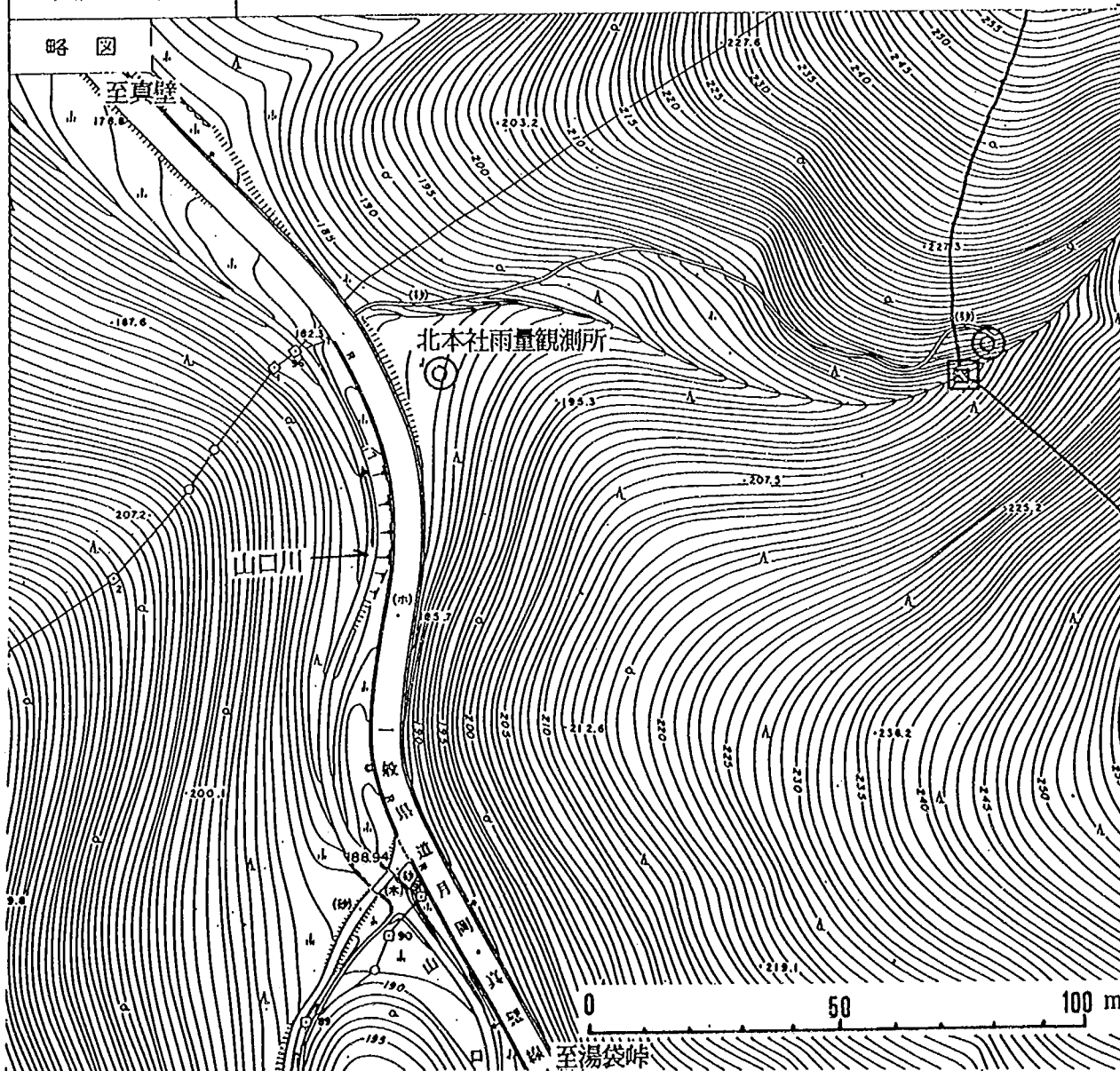
図 2.7 土俵場雨量観測所位置図

観測所番号

雨量観測所位置(そのⅡ)

水系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川		河川	山口川	観測所	北本社
位置	茨城 都道府県 真壁 市郡 真壁 町村 大字山尾字北本社 7					
	左岸	杆杭	上下	m	所属事務所	建設省土木研究所水文研究室
観測開始 年月日	普通	明大昭	年	月	日	流域面積(km ²)
	自記	明大昭	57年	11月	19日	河口よりの距離(km)
						合流点
緯度	北緯	.	経度	東経	.	標高又は 等点高(m)
						186.0

事務所より観測所に
至る間の主要地点迄
の距離又は所要時間



水研様式 台帳-Ⅱ

図 2.9 北本社雨量観測所位置図



写真 2.1 祖父ヶ峰雨量観測所



写真 2.2 土俵場雨量観測所

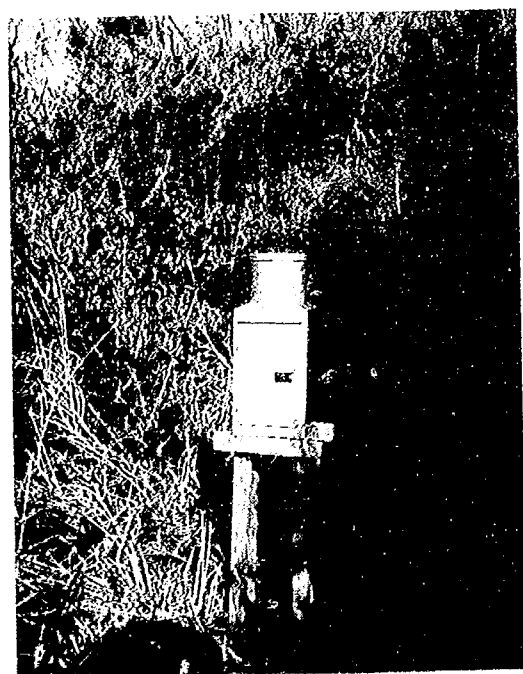


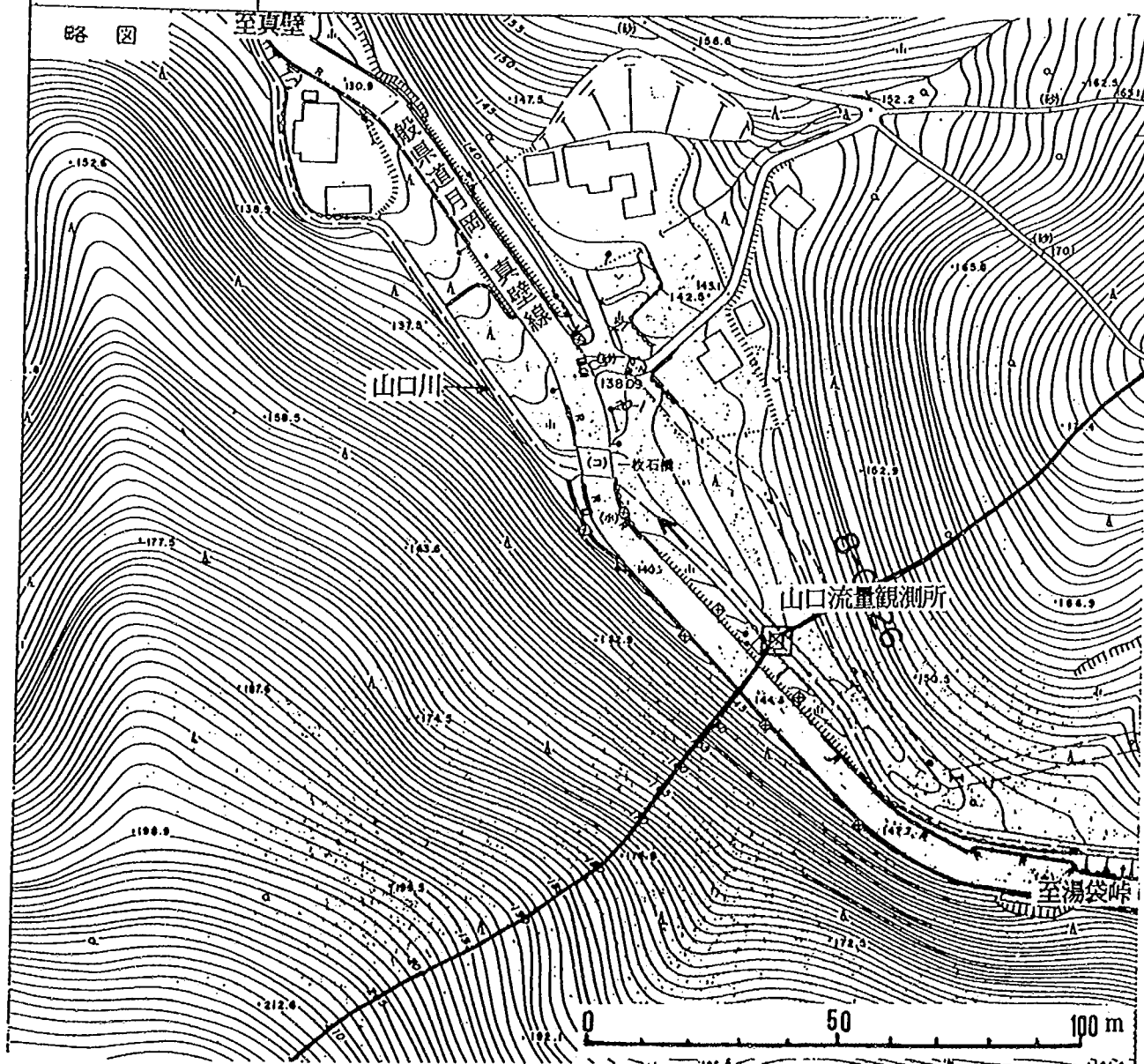
写真 2.3 北本社雨量観測所

観測所番号

~~示~~ ~~位~~
~~本~~ ~~位~~
 水位流量

観測所位置 (そのⅡ)

水系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川		河川	山口川	観測所	山口
位置	茨城 都道府(県) 真壁 市(郡) 真壁 (町)村 大字田字三本松 1246					
	左岸	杆杭上		m	所属事務所	建設省土木研究所水文研究室
観測開始 年月日	普通	明大昭	年	月	日	流域面積 (km ²)
	自記	明大昭	44年	6月	6日	河口 合流点
					よりの距離 (km)	3.12
緯度	北緯	.	.	経度	東経	.
					標高又は 零点高 (m)	142.0
事務所より観測所に 至る間の主要地点迄 の距離又は所要時間						



水研様式 台観-Ⅱ

図 2.10 山口流量観測所位置



写真 2.4 山口流量観測所

山口 流量観測所

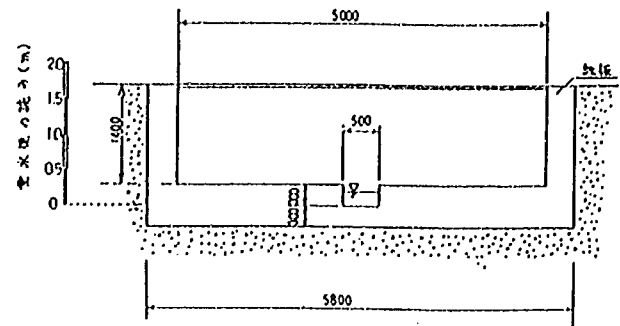


図 2.11 山口流量観測所堰形状

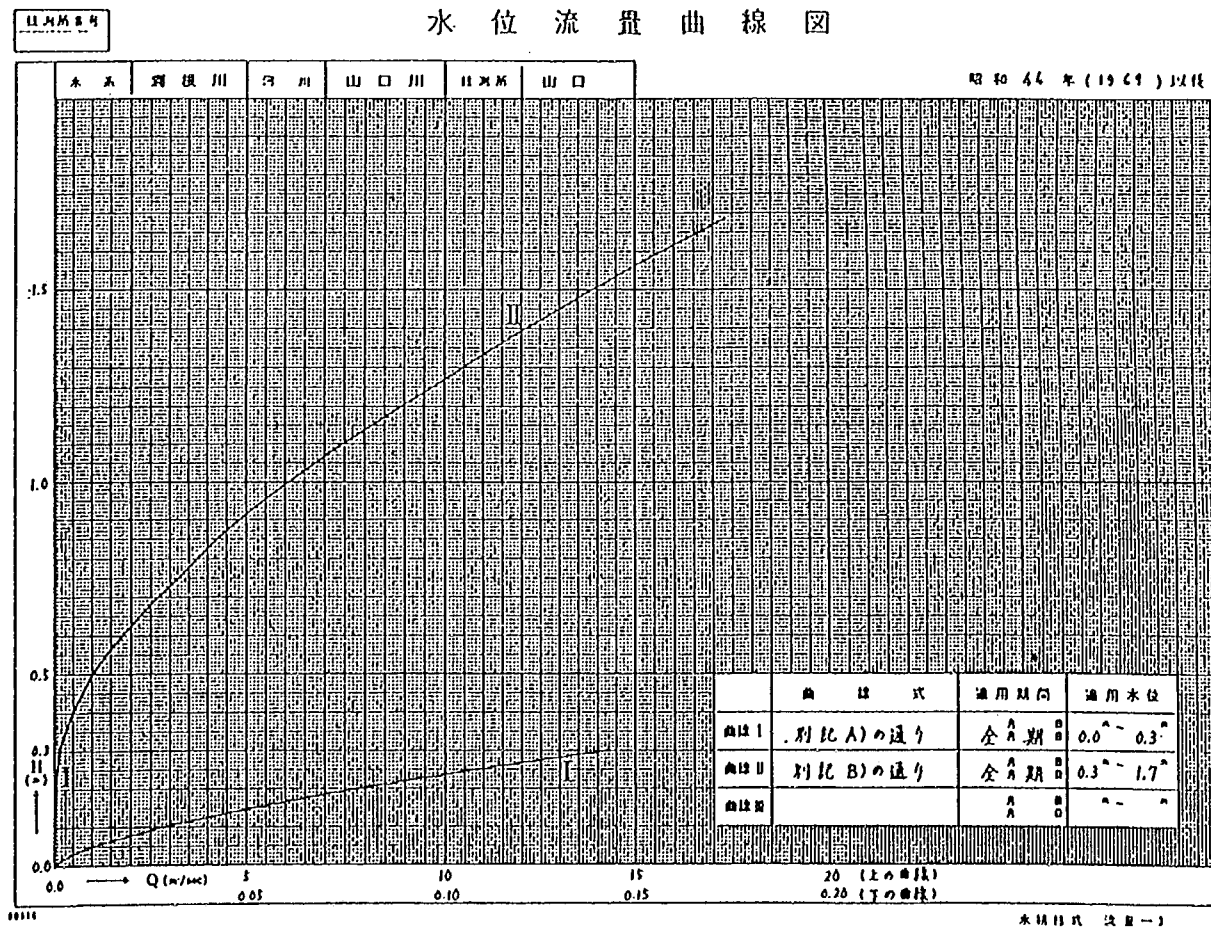


図 2.12 山口流量観測所水位流量曲線

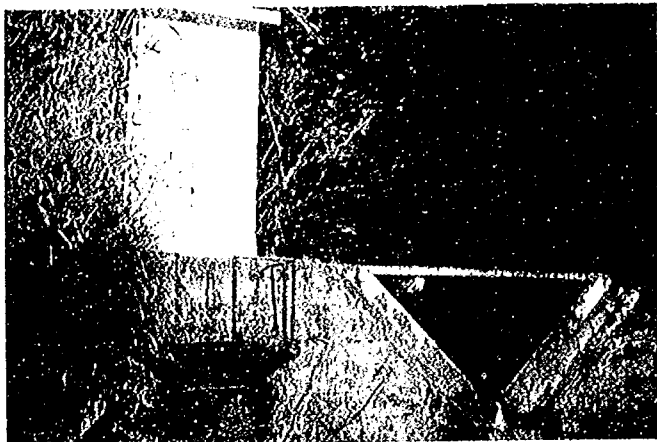


写真 2.5 祖父ヶ峰流量観測所

祖父ヶ峰流量観測所

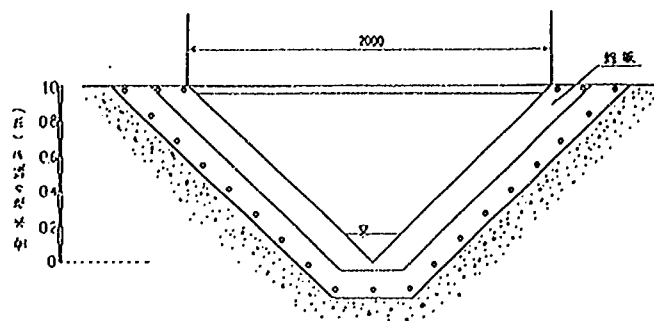


図 2.13 祖父ヶ峰流量観測所堰形状

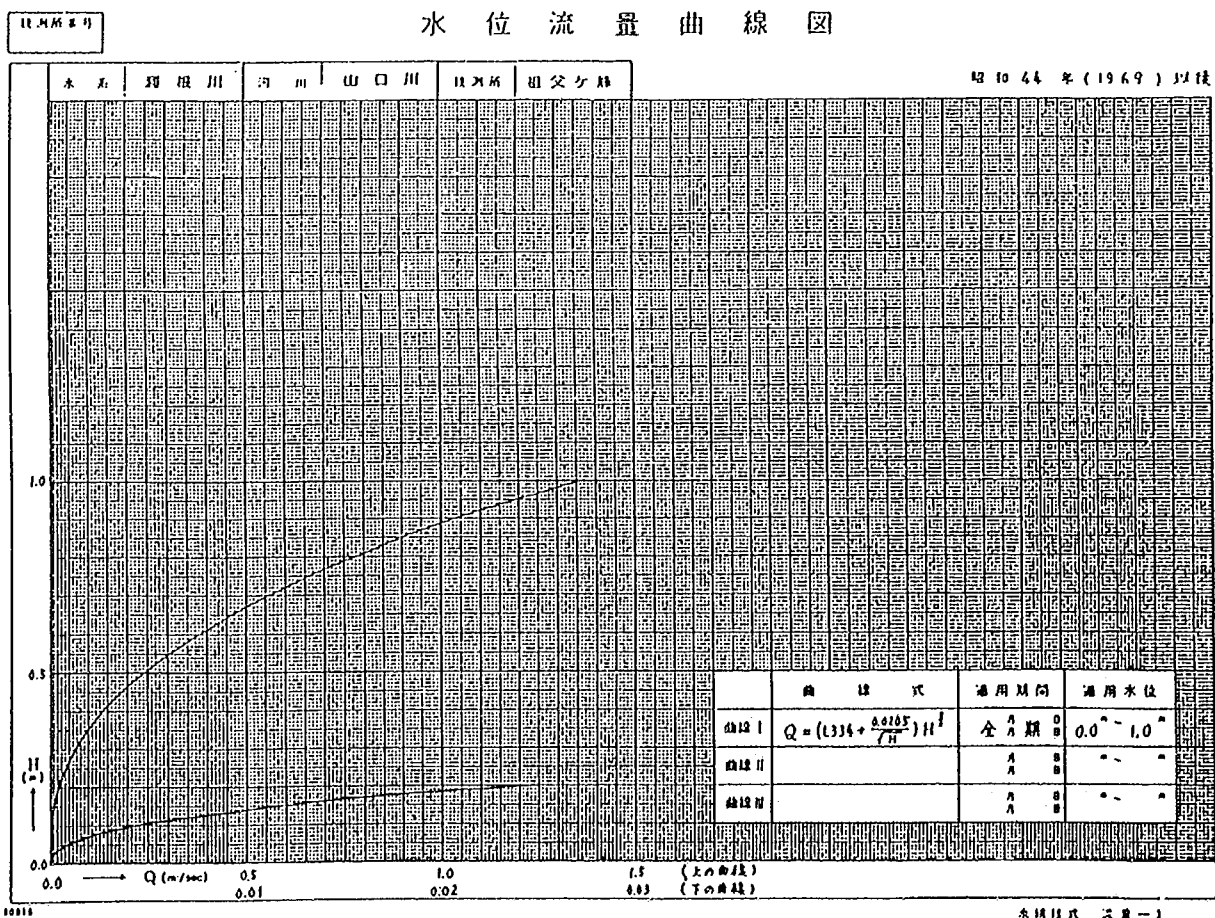


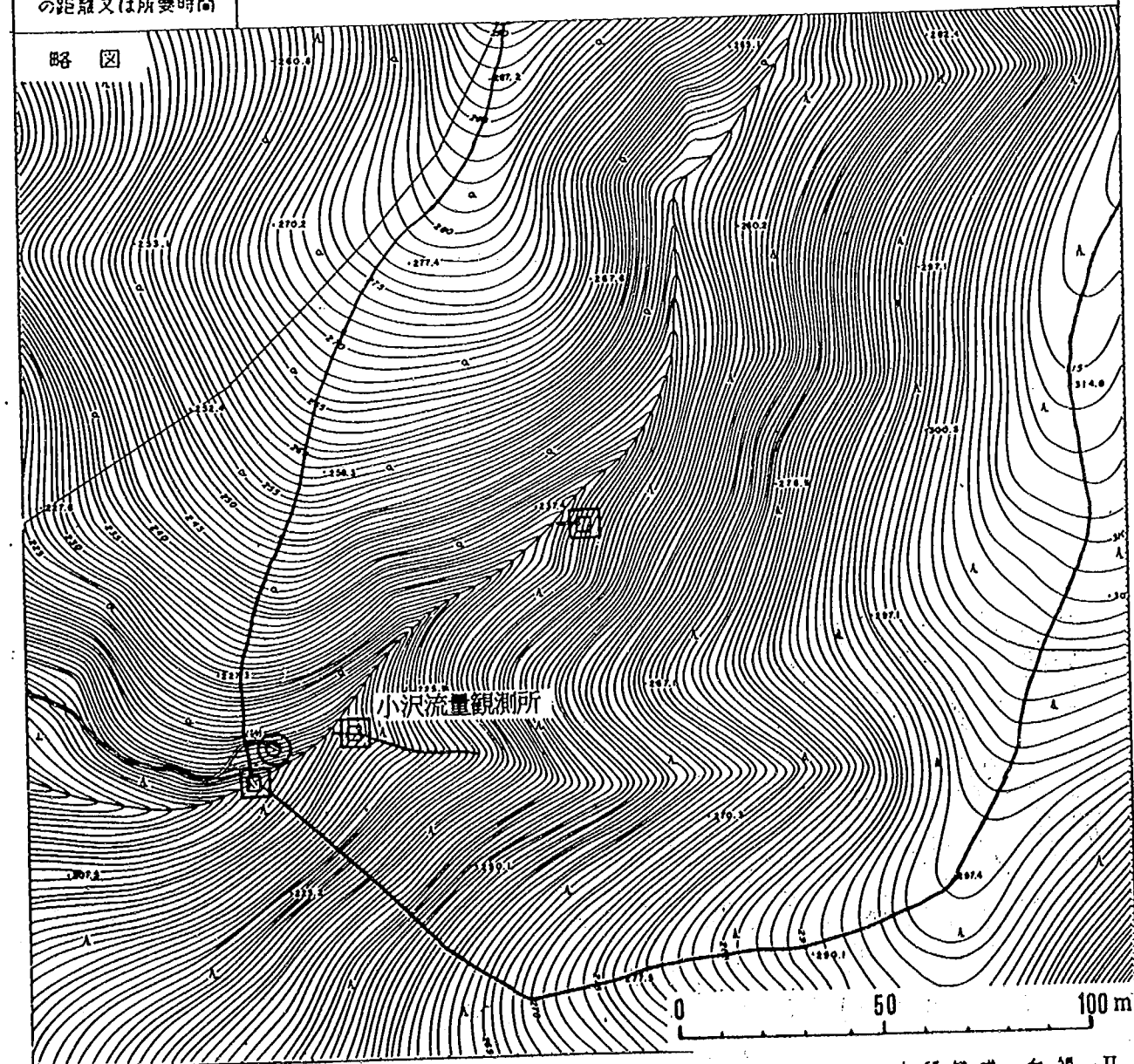
図 2.14 祖父ヶ峰流量観測所水位流量曲線

観測所番号

観測所位置
水位
単位流量

観測所位置(そのII)

水系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川			河川	山口川	観測所	小沢
位置	茨城 都道府県 真壁 市郡 真壁 町村			大字山尾字祖父ヶ峰 国有林 5ぬ1林小班内			
	左岸	杆杭上下		m	所属事務所	建設省土木研究所水文研究室	
観測開始 年月日	普通	明大昭 年 月 日			流域面積 (km ²)	0.01	
	自記	明大昭 45 年 3 月 25 日			河口 合流点	より距離 (km)	
緯度	北緯	—		経度	東経	—	
				標高又は 要点高 (m)		214.0	
事務所より観測所に 至る間の主要地点迄 の距離又は所要時間							



注.

図 2.15 小沢観測域位置図



写真 2.6 小沢観測域（期間 1）



写真 2.7 小沢観測域（期間 2）

表 2.4 小沢観測域観測項目（期間 2）

観測項目	観測所名	観測機器
河川流量	小沢（下流）	ハ・シカリアー流計（14インチ）
湧水流量	SW1	週一回手計り
	SW2	ハ・シカリアー流計（0.5インチ）
地下水位	GW1	リッパ式自記地下水位計（一週間巻）
	GW2	リッパ式自記地下水位計（一週間巻）
	GW3	リッパ式自記地下水位計（一週間巻）
土壌吸引圧	T-1- 20	自記テシオメータ（一週間巻）
	50	〃
	100	〃
	T-2- 20	〃
	50	〃
	100	〃
	T-3- 20	〃
	50	〃
	100	〃
	T-4- 20	〃
	50	〃
	100	〃

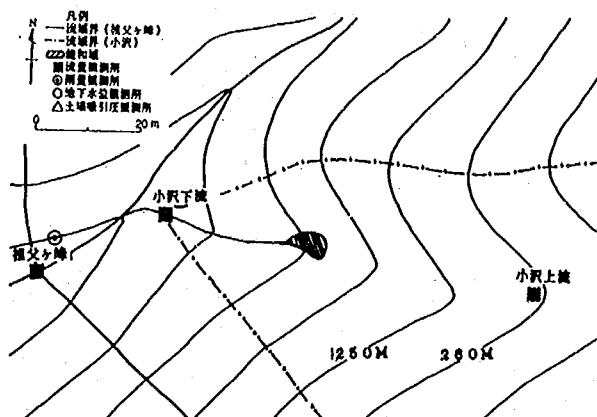


図 2.16 小沢観測域観測施設位置図
（期間 1）

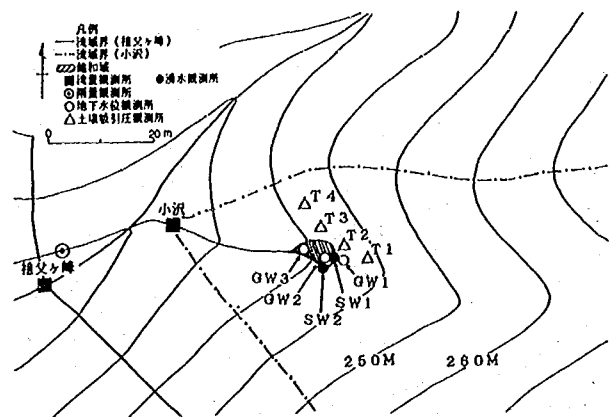


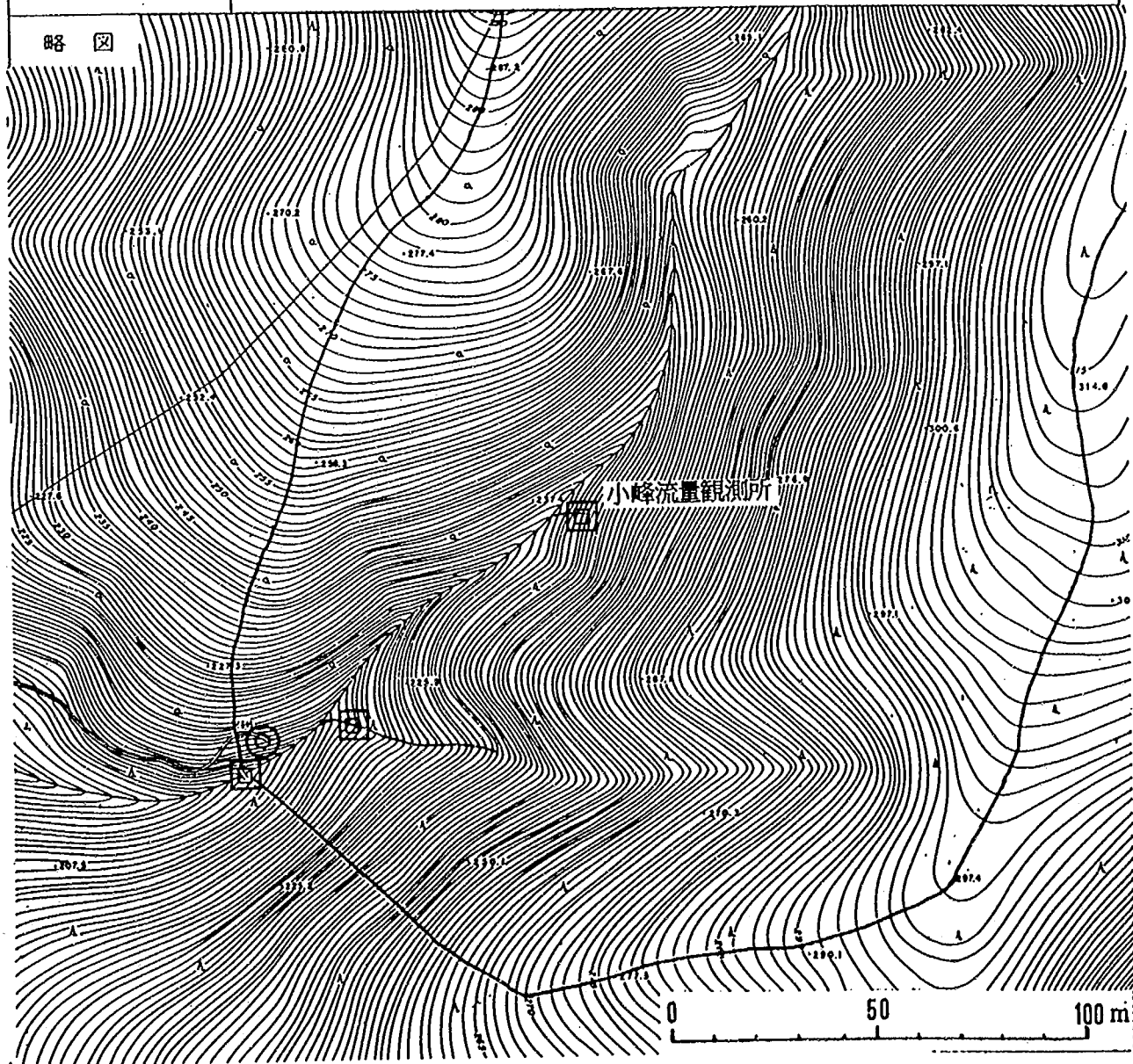
図 2.17 小沢観測域観測施設位置図
（期間 2）

観測所番号

橋——量
 水——位
 本位流量

観 測 所 位 置 (そのⅡ)

水 系	利根川水系常陸利根川 霞ヶ浦支川桜川左支川		河 . 川	山口川	観 測 所	小 峰
位 置	茨城 都道府県 真壁 市 真壁 町			大字山尾字祖父ヶ峰 国有林 5ぬ1林小班内		
	左 岸	杆 杭 上 下		m	所 属 事 務 所	建設省土木研究所水文研究室
観 測 開 始 年 月 日	普 通	明大昭	年	月	日	流 域 面 積 (km ²)
	自 記	明大昭	62 年	7 月	10 日	河 口 合 流 点 よ り の 距 離 (km)
緯 度	北緯	—	経 度	東経	—	標高又は 平均点高 (m)
						237.0
事務所より観測所に 至る間の主要地点迄 の距離又は所要時間						



水研様式 台帳-Ⅱ

図 2.18 小峰観測域位置図

表 2.5 小峰観測項目

観測項目	観測所名	観測機器
湧水流量	小峰	150CC転倒升流量計
土壌吸引圧	K T-1- 20	自記圧ソメータ(一週間巻)
	50	//
	100	//

表 2.6 水質分析項目

分析項目	水質試験方法	備考
NO ₃ ⁻ -N	上水試験方法 18.2	カドミウム・銅カラム還元法
K ⁺	JIS K0101 48.1	原子吸光法
SiO ₂	JIS K0101 44.1.1	吸光光度法(モリブデン黄法)
Cl ⁻	JIS K0101 32.1	チオシアン酸水銀(II) 吸光光度法
SO ₄ ²⁻	JIS K0101 42.2	クロム酸バリウム吸光光度法
水温	—	伝導度計による直接計測
EC	—	伝導度計による直接計測
δ ¹⁸ O	—	水CO ₂ ガス同位体交換法

第3章 観測結果

3・1 長期降雨流出特性

3・1・1 年降雨特性

降雨観測データには多くの欠測が含まれており、解析を行うためにはデータの補完が必要となる。図3.1～図3.3に各降雨観測所間での日降雨の相関を示す。なお、北本社のデータは観測期間が短いため解析から除外した。祖父ヶ峰―上本社間の相関は観測地点が近いためかなり良好な結果となっている。本来ならこれら流域内のデータより補完を行うべきだが、流域内の観測所間では同時期の欠測が多く補完が難しい。そこで、流域周辺の雨量観測所との相関も検討した。対象とした観測所は気象庁所管筑波山頂観測所及び、柿岡観測所との相関である。筑波山頂観測所は標高850m地点にあり気象条件が試験流域内とは違うことから相関は悪く、柿岡観測所は流域から南東方向に約7kmほど離れている事からかなり相関が悪い。そこで、降雨データの欠測補完は、流域内の降雨観測所の相関の良いものから優先させ、流域内の観測所がすべて欠測の場合は筑波山頂及び柿岡の観測所のデータにより補完を行った。表3.1に補完に用いた回帰式及び補間順位を示す。

表3.2に年降雨一覧及び、図3.4に降雨量経年変化を示す。流域内の降雨量は1970年から1988年の19年間の平均で1380mm程度である。ちなみに、東京の年平均降水量は1460mm、水戸の年平均降水量は1342mmとなっている（統計期間1951～1980年 理科年表1988より）。年降雨量の年変動傾向は流域内外を問わず同一の変化傾向となっている。

3・1・2 年流出特性

図3.5に山口―祖父ヶ峰観測所間における日流出高の相関を示す。図に示すとおり良好な相関が得られた。表3.3に日流出高相関係数を示す。

表3.4に山口及び祖父ヶ峰観測所の年流出高を示す。年流出高は欠測を除く観測期間の平均で山口で814mm、祖父ヶ峰で579mmとなっており祖父ヶ峰の流出高は山口の7割程度となっており祖父ヶ峰流域の損失が大きいことが分かる。年流出高の経年変化を図3.6に示す。

流況表を表3.5に流況図を図3.7に示す。裏筑波流出試験地では流況が非常に安定しており低水流量や渇水流量が大きいことがわかる。

月流出高の変動について美和流出試験地及び宝川流出試験地との対比を行った。対象期間は1970～1977年とした。比較対象とした両流域の諸元を表3.6に示す。対比結果を図3.8に示す。月流出高の変動からも裏筑波流出試験地の流況が安定していることが分かる。

表3.6 美和、宝川流出試験地諸元

試験地名	所在地	流域面積	年流出率
美和流出試験地	天竜川水系左支川三峰川右支川小犬沢	1.36km ²	0.639
宝川流出試験地	利根川水系右支川宝川左支川初沢川	1.18km ²	0.855

3・1・3 年降雨量と年流出量

山口と祖父ヶ峰における年降雨量と年流出高との関係を図3.9に、年降雨量と年流出率との関係を図3.10に示す。

3・1・4 年間水収支

水収支は質量保存則を水に適用したもので、ある期間の水収支は次式で表される。

$$P = Q + E + \Delta S + i$$

P: 降水量 Q: 表面流出量 E: 蒸発量 ΔS : 貯留変化量 i: 地中での流出量

長期の水収支では $\Delta S = 0$ となり、降雨量(P)、流量(Q)は既知となるため、損失量(L)は次式として扱う。なお、対象期間は1970～1977年とした。年間水収支計算結果を表3.7に示す。

$$L = E + \Delta S + i$$

年間降水量と年間損失高の関係を図3.11に示す。これによると年間損失量(L)が降雨量とともに増加しており、年間損失高の平均は山口で600mm程度、祖父ヶ峰で850mm程度となっている。この違いは小流域ほど地下水としての流下成分が増大すると共に、祖父ヶ峰が南向き斜面であり乾燥しやすいことから損失が大きくなるものと推測される。

3・2 蒸発散量

蒸発散量の推定方法には、経験式から推定する方法とライシメータにより直接観測する方法がある。筑波大学水理実験センターでは秤量式ライシメータによる蒸発散量の精度の良い観測が行われている。そこで、この蒸発散量を山口の流量変動より算出を試みた。

3・2・1 ライシメータと経験式

図3.12はライシメータによる蒸発散量と館野气象台データを用いて経験式から推定した蒸発散量を示したものである。ローワーの式は水面蒸発散量を、ペンマンの式は可能蒸発散量を、ソーンズウエイの式は可能蒸発散量を推定しており、通常、水面蒸発散量>可能蒸発散量>実蒸発散量となる。なお可能蒸発散量とは植物で完全に覆われた十分に湿った地面からの蒸発散量である。これらを比較すると、ライシメータの観測値に最も近いのはペンマン式による推定値であり、変動傾向、年間蒸発散量ともに良く一致している。

試験地では夏期には1～2度気温が低く風速が若干弱いことから、蒸発散量は5月～8月には4mm弱/月、年間で15mmほど館野より少なくなるが、裏筑波試験地での蒸発散量をライシメータによる蒸発散量で代表させても大差ないと言える。

3・2・2 晴天時における山口の流量変動

蒸発散の影響を受け河川流量はどのような変化をしているであろうか。図3.13は筑波大学水理実験センターにおいて観測された気温、日射量、蒸発量と、山口の流出高を示している。

蒸発散量の変動は日射量と約1時間の遅れがありピークは13～14時に見られる。この時の山口の流出高を見ると蒸発による影響と考えられる凹部が見られ、凹部のピークは16～17時に現れており流出高は0～4時には安定する。そこで、凹部損失に相当する蒸発散量をライシメータによる蒸発散量の面積に換算してみると約3.5haとなり、この面積は流域内の河道面積約1.9haに湿润域の面積等を考え合わせれば地表面水の面積としては概ね妥当なものである。これらの状況から、山口の凹な流量変動は気温や日射の影響をうけて、地表面の水が気温、日射により直接蒸発したものと考えられる。

3・2・3 蒸発散量の推定

7～9月の晴天時における山口の損失高(凹部の面積)とライシメータの蒸発散量との関係を調べた。相関係数は0.82と比較的相関は良いが、この相関式では損失高を積分する手間がかかり実用的ではない。そこで7～9月における晴天時のピーク損失高とライシメータの蒸発散量との相関を取ると相関係数0.82であり、これから求めた相関式によって流域からの蒸発散量を簡便にもとめることができる。蒸発散量

を求める相関式は以下のとおりである。(1987, 7～9に限る)

$E = 40.82X + 1.31$ 。。。。全損失高 x (mm/day) による

$E = 1266X + 0.332$ 。。。。ピーク損失高 x (mm/30min) による

蒸発散量の推定結果を図3.14に示す。

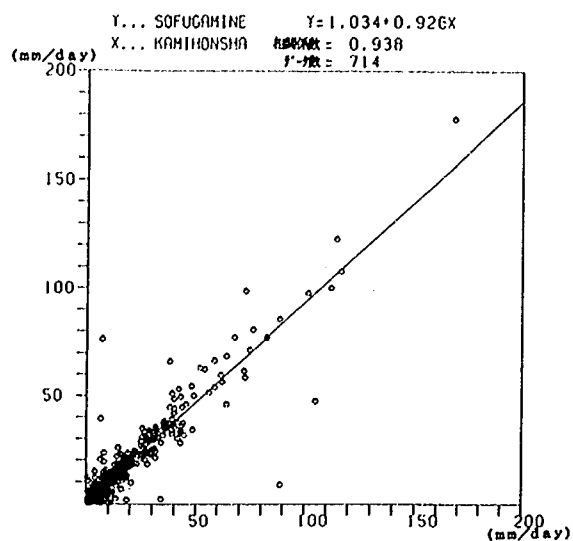


図 3.1 (1) 日降雨量観測所間相関
 祖父ヶ峰—上本社

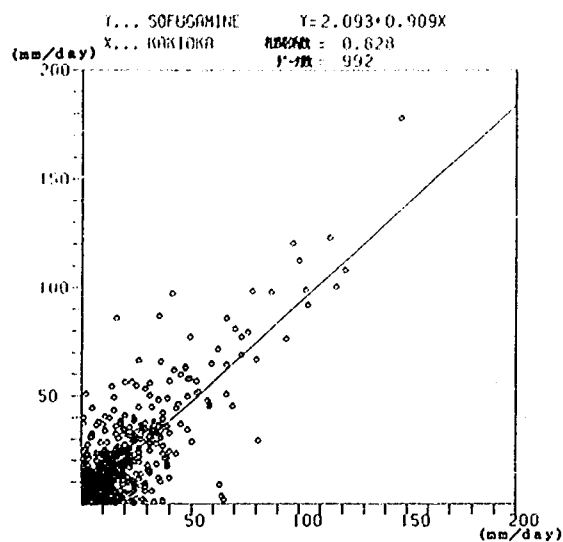


図 3.1 (4) 日降雨量観測所間相関
 祖父ヶ峰—柿岡

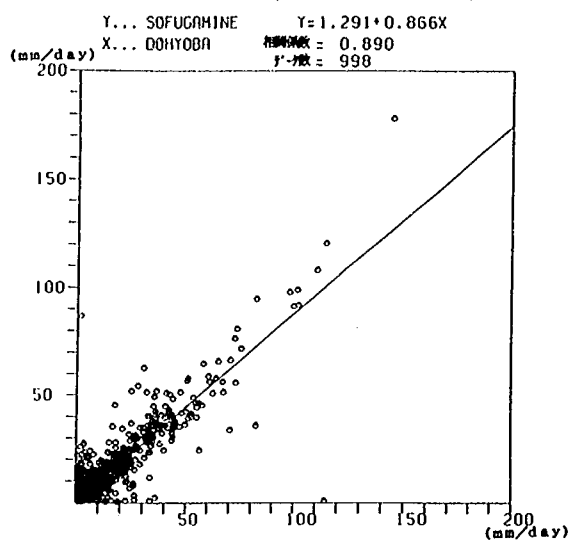


図 3.1 (2) 日降雨量観測所間相関
 祖父ヶ峰—土俵場

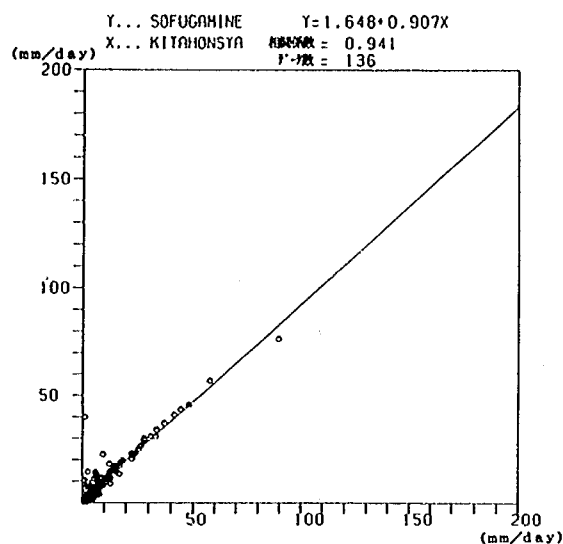


図 3.1 (5) 日降雨量観測所間相関
 祖父ヶ峰—北本社

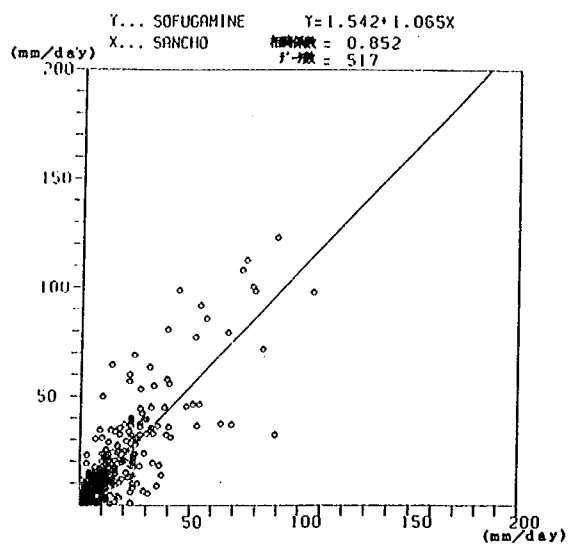


図 3.1 (3) 日降雨量観測所間相関
 祖父ヶ峰—筑波山頂

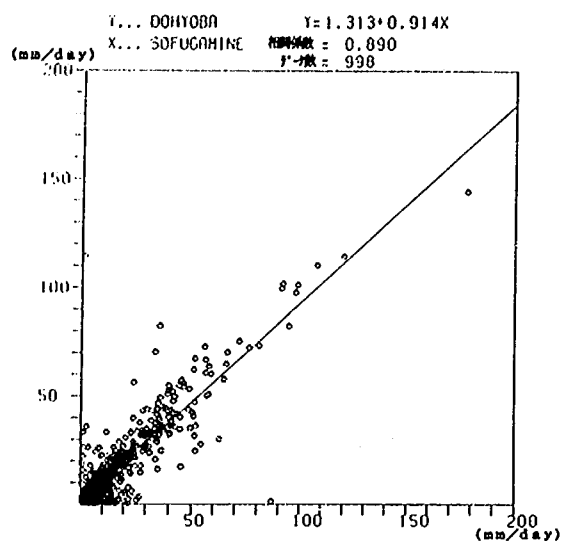


図 3.2 (1) 日降雨量観測所間相関
土俵場-祖父ヶ峰

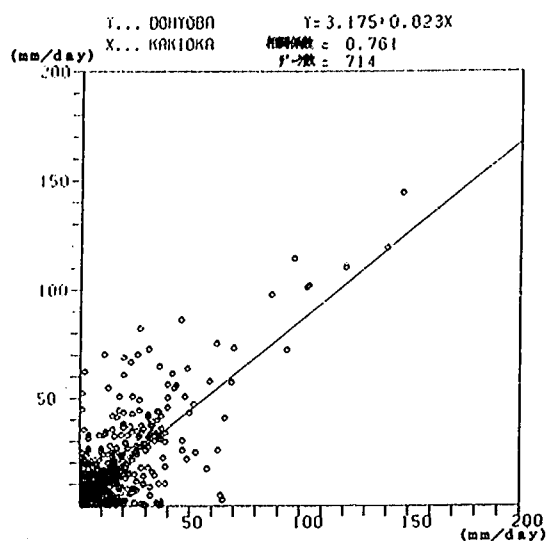


図 3.2 (4) 日降雨量観測所間相関
土俵場-柿岡

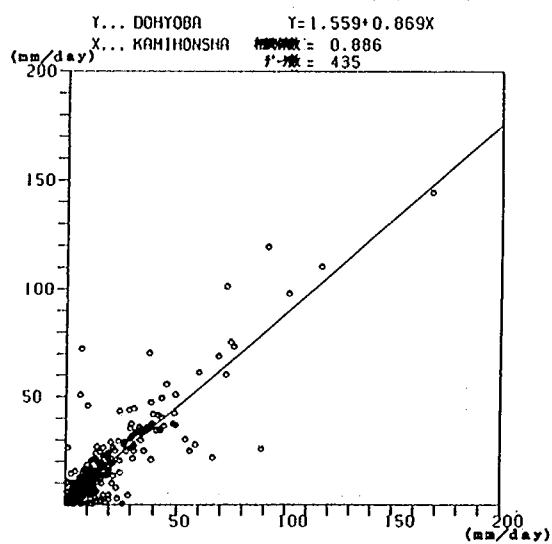


図 3.2 (2) 日降雨量観測所間相関
土俵場-上本社

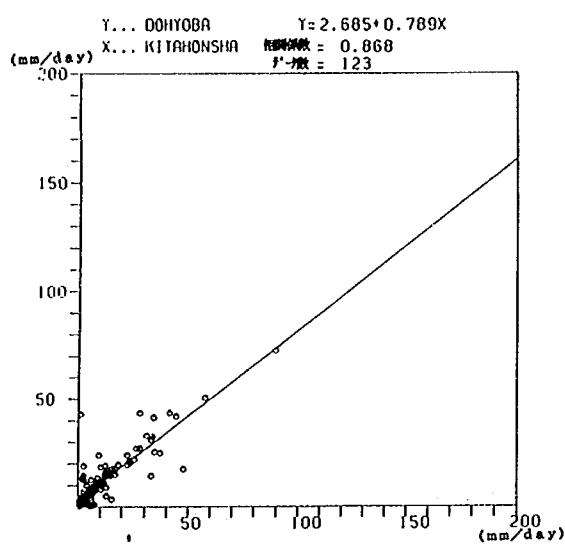


図 3.2 (5) 日降雨量観測所間相関
土俵場-北本社

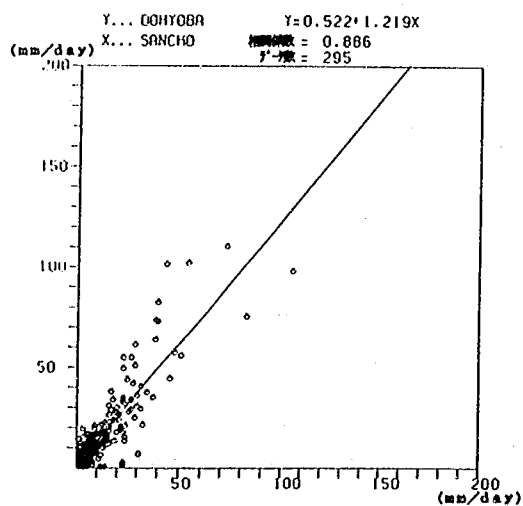


図 3.2 (3) 日降雨量観測所間相関
土俵場-筑波山頂

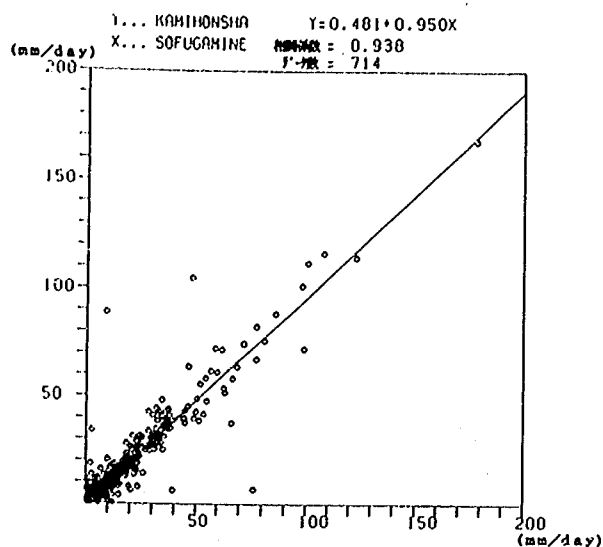


図 3.3 (1) 日降雨量観測所間相関
上本社－祖父ヶ峰

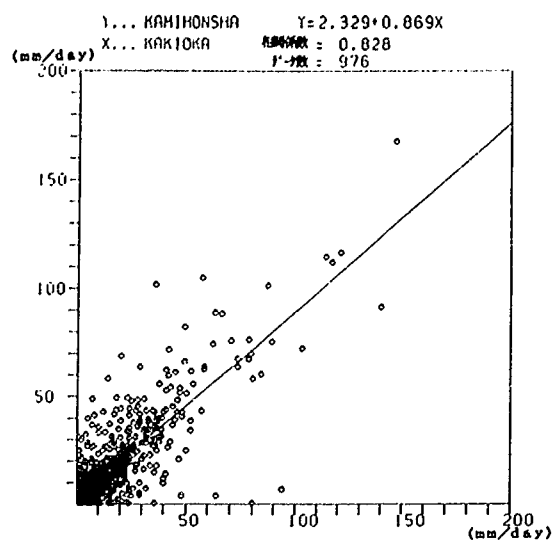


図 3.3 (4) 日降雨量観測所間相関
上本社－柿岡

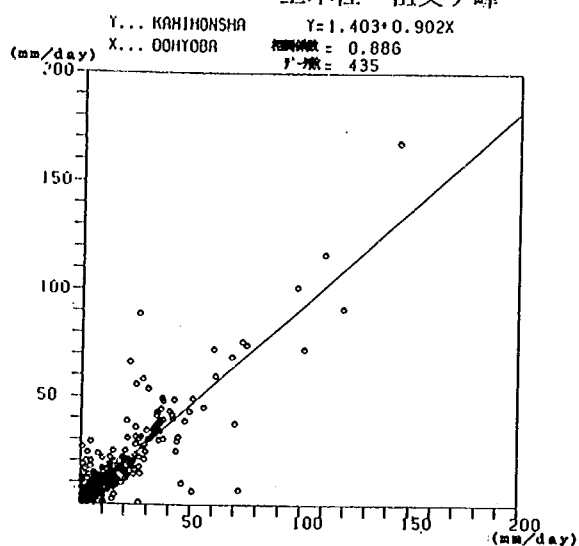


図 3.3 (2) 日降雨量観測所間相関
上本社－土俵場

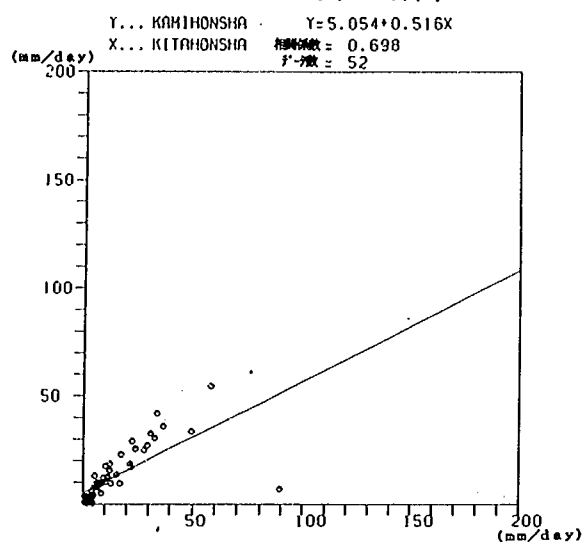


図 3.3 (5) 日降雨量観測所間相関
上本社－北本社

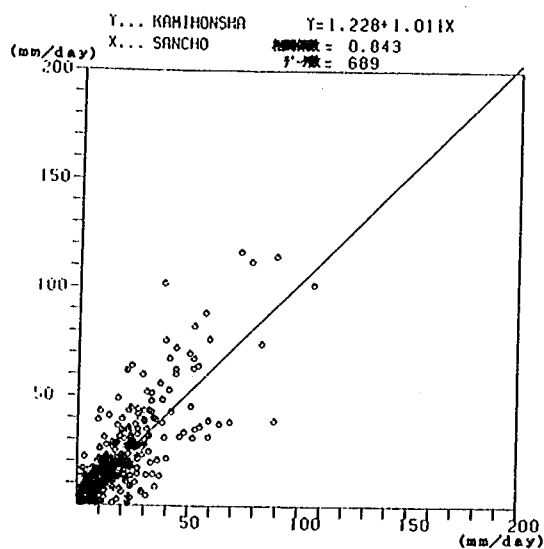


図 3.3 (3) 日降雨量観測所間相関
上本社－筑波山頂

表 3.1 日降雨量観測所間相関係数

降雨観測所	回帰式	相関係数	使用F-度数	補充順位
祖父ヶ峰	- *祖父ヶ峰+ -	-	-	-
	0.928*上本社 +1.034	0.938	714	1
	0.907*北本社 +1.648	0.941	138	-
	0.890*土俵場 +1.291	0.890	998	2
	1.065*筑波山頂+1.542	0.852	517	3
土俵場	0.909*柿岡 +2.093	0.825	992	4
	0.914*祖父ヶ峰+1.313	0.890	998	1
	0.869*上本社 +1.559	0.886	435	2
	0.789*北本社 +2.685	0.568	123	-
	- *土俵場 + -	-	-	-
上本社	1.219*筑波山頂+0.522	0.886	295	3
	0.823*柿岡 +3.175	0.781	714	4
	0.950*祖父ヶ峰+0.481	0.938	714	1
	- *上本社 + -	-	-	-
	0.516*北本社 +5.054	0.698	52	-
北本社	0.902*土俵場 +1.403	0.886	435	2
	1.011*筑波山頂+1.228	0.843	689	3
	0.869*柿岡 +2.329	0.828	976	4
	- *上本社 + -	-	-	-

表 3.2 年降雨量一覧表

年	年 間 降 雨 量 (mm)					年	年 間 降 雨 量 (mm)				
	裏 筑 波 流 出 試 験 地			気 象 庁			裏 筑 波 流 出 試 験 地			気 象 庁	
	祖父ヶ峰	土俵場	上本社	筑波山頂	柿岡		祖父ヶ峰	土俵場	上本社	筑波山頂	柿岡
1970	1059.0 (1118.4)	538.5 (1171.8)	937.5 (1064.6)	1002.0	1045.0	1980	617.0 (1294.9)	833.0 (1192.4)	1232.5 (1366.9)	-	1319.0
1971	1238.5 (1461.3)	633.0 (1411.9)	1276.0 (1378.4)	1276.0	1359.0	1981	1194.2 (1330.2)	854.5 (1066.0)	1431.6 -	-	1181.0
1972	1182.5 (1417.8)	1114.5 (1532.3)	1310.5 (1429.1)	1405.0	1408.0	1982	1045.0 (1531.3)	1205.5 (1508.3)	1153.5 (1299.5)	-	1424.0
1973	0.0 (1189.2)	0.0 (1174.6)	1172.5	1209.0	1119.0	1983	1151.5 (1322.9)	1302.0	-	-	1353.0
1974	755.5 (1492.4)	166.5 (1553.9)	854.5 (1448.9)	1427.0	1356.0	1984	907.0 (988.0)	884.5 (1037.6)	-	-	730.0
1975	380.5 (1631.0)	0.0 (1650.6)	1336.5 (1607.0)	1444.0	1525.0	1985	1626.0	1677.5 (1687.8)	-	-	1489.0
1976	1324.5 (1774.0)	354.5 (1764.9)	1056.0 (1664.9)	951.0	1527.9	1986	1428.5 (1443.1)	890.0 (1172.7)	-	-	-
1977	1495.5 (1542.0)	1029.5 (1649.3)	818.5 (1531.1)	802.0	1374.0	1987	1070.4	1262.5	-	-	-
1978	196.5 (1007.4)	0.0 (1015.8)	135.0 (980.6)	-	980.2	1988	1742.8	1237.2 (1632.8)	-	-	-
1979	216.0 (1292.4)	0.0 (1292.2)	742.5 (1258.4)	-	1393.0	平均	(1382.9)	(1372.6)	-	-	-

*カッコ内は欠測値補完後の降雨量

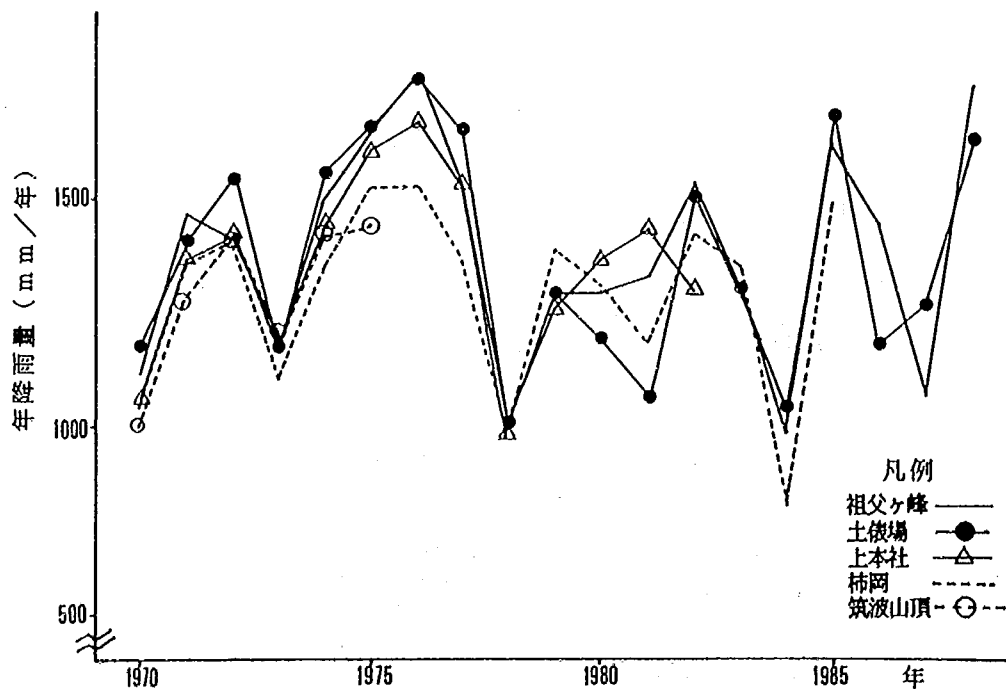


図 3.4 年降雨量経年変化

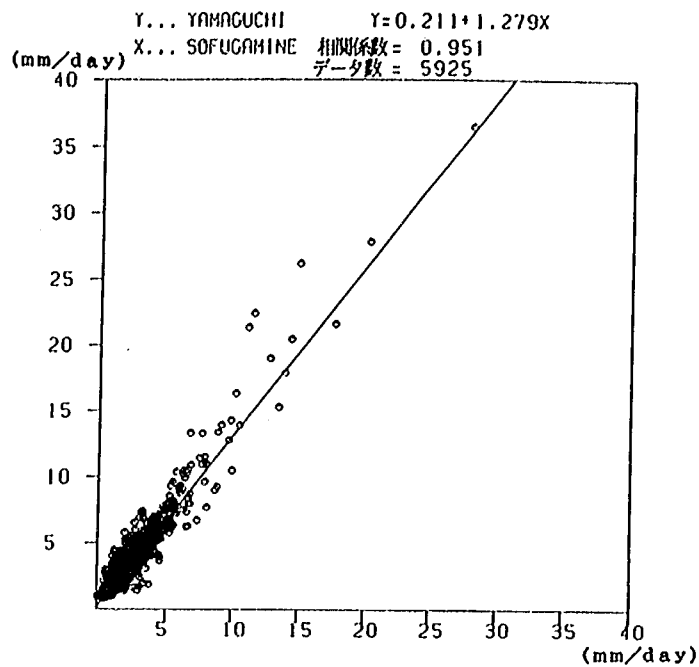


図 3.5 (1) 日流出高観測所間相関
山口—祖父ヶ峰

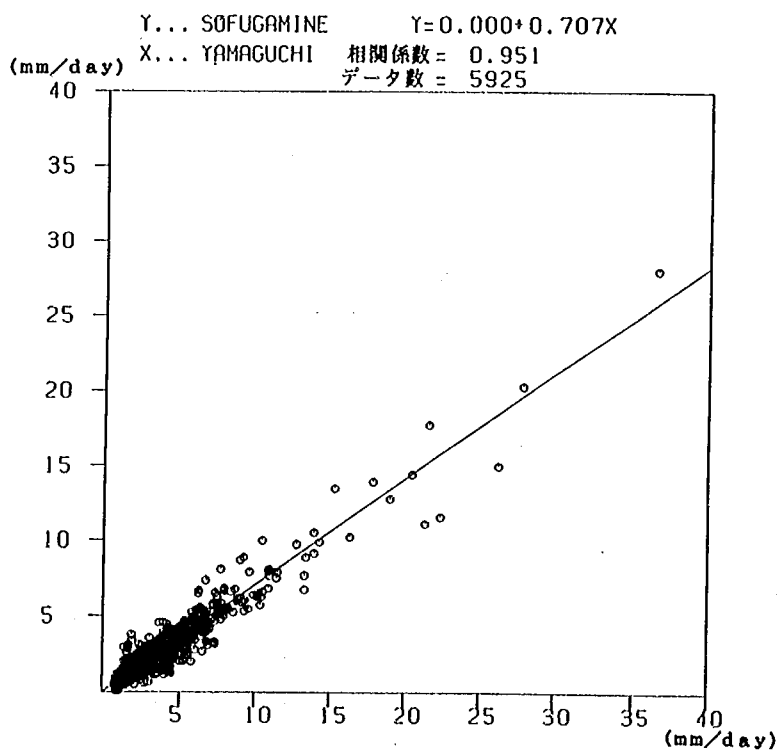


図 3.5 (2) 日流出高観測所間相関
祖父ヶ峰—山口

表 3.3 日流出高観測所間相関係数

流量観測所	回帰式	相関係数	データ数
山口	$1.279 \times \text{祖父ヶ峰} + 0.211$	0.951	5925
祖父ヶ峰	$0.707 \times \text{山口} + 0.0$	0.951	5925

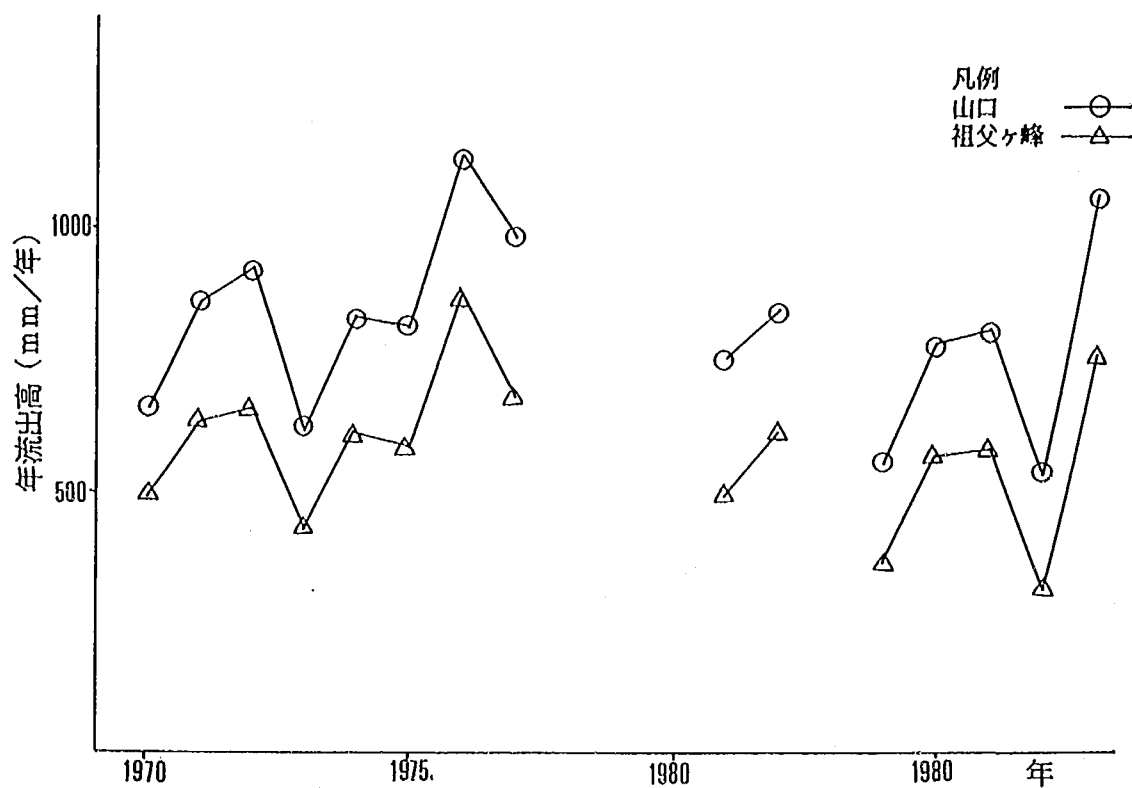


図 3.6 年流出高経年変化

表 3.4 年流出高

年 流 出 高(mm)					
年	山 口	祖父ヶ峰	年	山 口	祖父ヶ峰
1970	660.7	494.5	1980	-	-
1971	824.6 (861.7)	585.6 (632.3)	1981	715.7 (751.9)	490.4 (495.1)
1972	920.8	584.4 (668.4)	1982	848.7	614.2
1973	629.9	382.5 (431.1)	1983	-	-
1974	798.7 (837.0)	513.6 (615.2)	1984	559.8	338.5 (383.3)
1975	814.2	544.1 (582.0)	1985	787.0	573.0
1976	1147.8	724.2 (873.5)	1986	810.7	581.7
1977	985.3	544.7 (688.1)	1987	530.7	314.6
1978	-	-	1988	1064.2	760.6
1979	-	-	平均	(814.0)	(579.0)

*カッコ内は欠測値補完後の流出高

表3.5 流況表

年	豊水流量 (mm/day)		平水流量 (mm/day)		低水流量 (mm/day)		渇水流量 (mm/day)		平均流量 (mm/day)	
	山口	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰
1970	1.787	1.412	1.586	1.176	1.426	1.020	1.152	0.772	1.810	1.355
1971	2.696	2.086	1.833	1.304	1.360	0.997	1.182	0.696	2.361	1.732
1972	2.785	2.124	2.267	1.714	1.902	1.278	1.375	0.967	2.516	1.821
1973	1.776	1.296	1.497	1.017	1.320	0.888	1.080	0.708	1.701	1.181
1974	2.552	1.968	1.848	1.395	1.308	0.846	1.140	0.648	2.293	1.685
1975	2.496	1.854	1.872	1.272	1.512	1.104	1.332	0.516	2.231	1.595
1976	3.612	2.668	2.790	2.016	2.040	1.728	1.752	1.247	3.136	2.386
1977	2.814	1.944	2.076	1.485	1.776	1.242	1.332	0.984	2.699	1.885
1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	2.127	1.532	1.798	1.148	1.563	0.895	1.326	0.669	2.060	1.356
1982	2.697	2.215	1.809	1.262	1.466	0.969	1.264	0.802	2.325	1.683
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	1.697	1.154	1.465	0.941	1.191	0.706	0.912	0.529	1.529	0.993
1985	2.397	1.738	1.864	1.339	1.512	1.001	0.872	0.453	2.156	1.570
1976	2.485	1.703	1.843	1.294	1.511	1.077	1.179	0.824	2.221	1.594
1977	1.550	1.012	1.407	0.784	1.236	0.675	1.021	0.522	1.454	0.862
1988	3.685	2.781	2.186	1.512	1.419	0.916	0.898	0.374	2.908	2.078
平均值	2.447	1.834	1.876	1.311	1.436	1.023	1.111	0.714	2.227	1.632

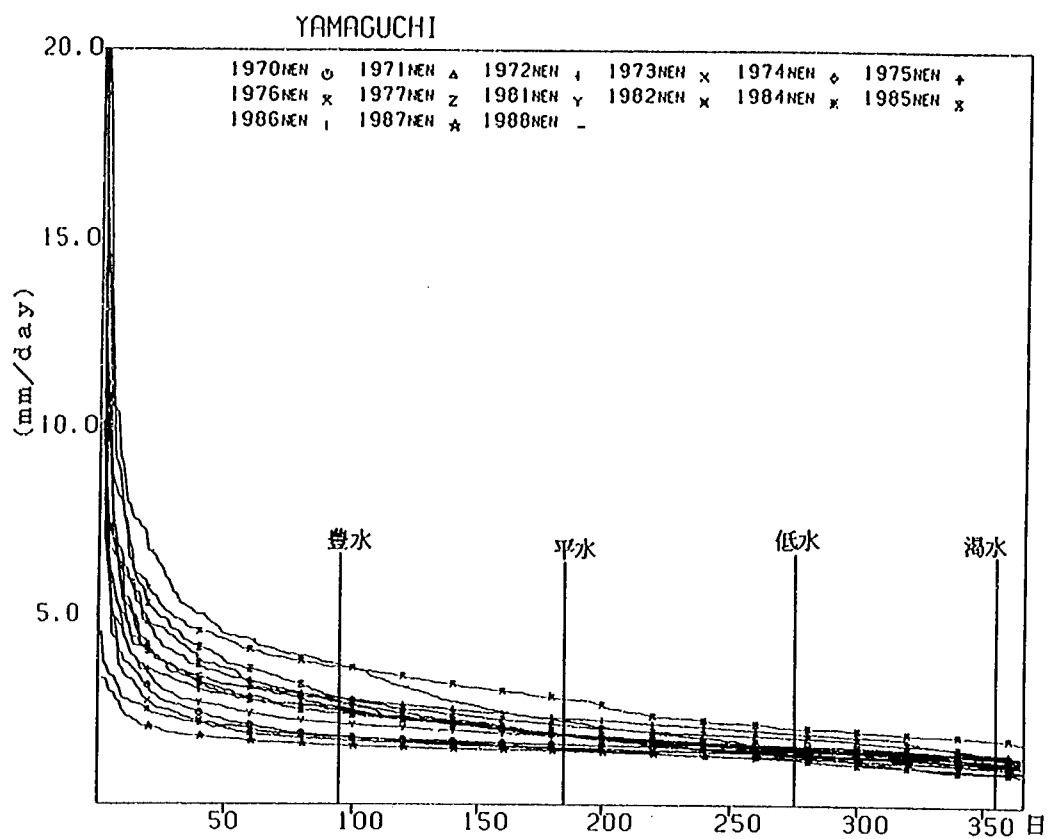


図 3.7 (1) 流況図 (山口)

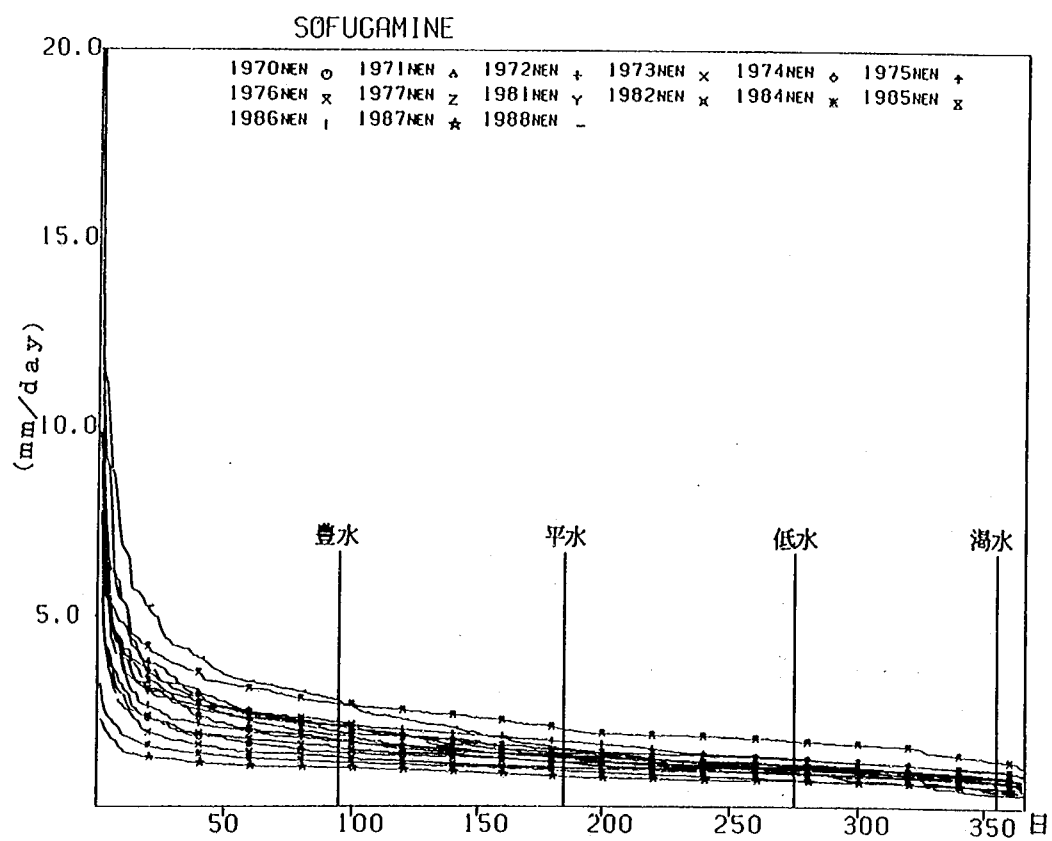


図 3.7 (2) 流況図 (祖父ヶ峰)

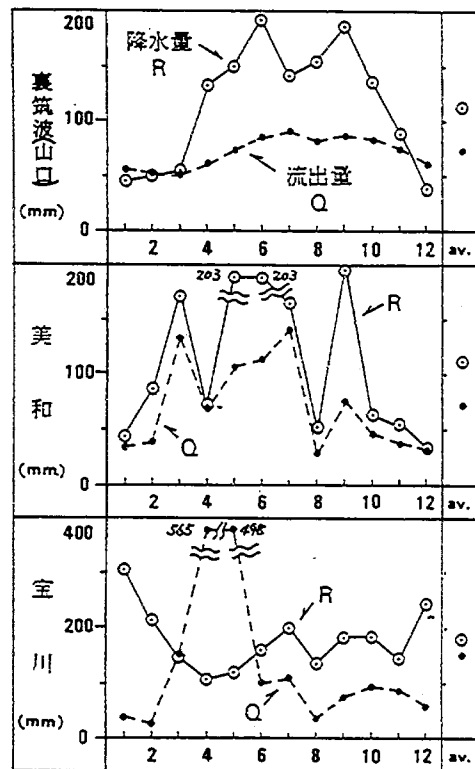


図 3.8 月流出高の変動

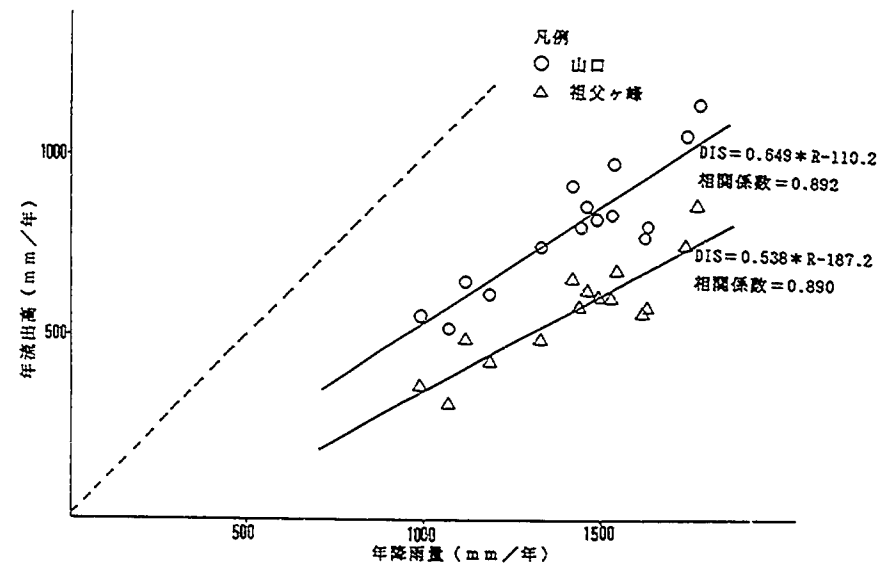


図 3.9 年降雨量と年流出高

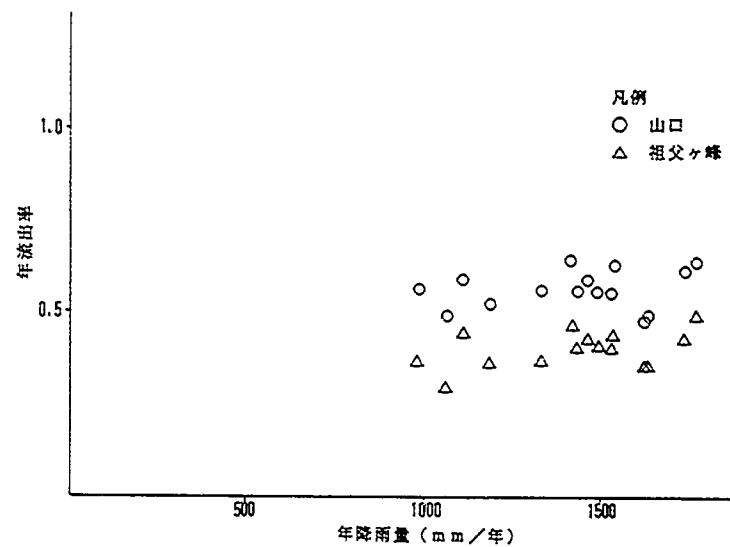


図 3.10 年降雨量と年流出率

表3.7 年間水収支

年	年流出高(mm)		年降雨量	年流出率		年損失量		蒸発散量
	山口	祖父ヶ峰	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰	山口	祖父ヶ峰	
1970	660.7 mm	494.5 mm	1059.0 mm (1118.4)	0.591	0.442	457.7 mm	623.9 mm	775.9 mm
1971	824.6 (861.7)	585.6 (632.3)	1236.5 (1461.3)	0.590	0.433	599.6	829.0	758.3
1972	920.8	584.4 (666.4)	1182.5 (1417.8)	0.649	0.470	497.0	751.4	778.9
1973	629.9	382.5 (431.1)	0.0 (1189.2)	0.522	0.363	568.3	758.1	784.0
1974	798.7 (837.0)	513.6 (615.2)	755.5 (1492.4)	0.561	0.412	655.4	877.2	759.4
1975	814.2	544.1 (582.0)	380.5 (1631.0)	0.499	0.357	816.8	1049.0	774.0
1976	1147.8	724.2 (873.5)	1324.5 (1774.0)	0.647	0.492	626.2	900.5	721.1
1977	985.3	544.7 (688.1)	1495.5 (1542.0)	0.639	0.446	556.7	853.9	758.5
1978	-	-	196.5 (1007.4)	-	-	-	-	759.8
1979	-	-	216.0 (1292.4)	-	-	-	-	764.1
1980	-	-	617.0 (1294.9)	-	-	-	-	707.5
1981	715.7 (751.9)	490.4 (495.1)	1194.2 (1330.2)	0.565	0.372	578.3	835.1	690.3
1982	848.7	614.2	1045.0 (1531.3)	0.554	0.401	682.6	917.1	722.0
1983	-	-	1151.5 (1322.9)	-	-	-	-	710.3
1984	559.8	338.5 (363.3)	907.0 (988.0)	0.567	0.368	428.2	624.7	709.6
1985	787.0	573.0	1626.0	0.484	0.352	839.0	1053.0	736.7
1986	810.7	581.7	1428.5 (1443.1)	0.562	0.403	632.4	861.4	696.4
1987	530.7	314.6	1070.4	0.496	0.294	539.7	755.9	740.9
1988	1064.2	760.6	1742.8	0.611	0.436	678.6	982.2	719.1
平均	(814.0)	(579.0)	(1382.9)	0.569	0.403	609.8	844.8	740.4

*カッコ内は欠測値補完後のデータ

*蒸発散は、笠間月気温をハーモンの式で計算

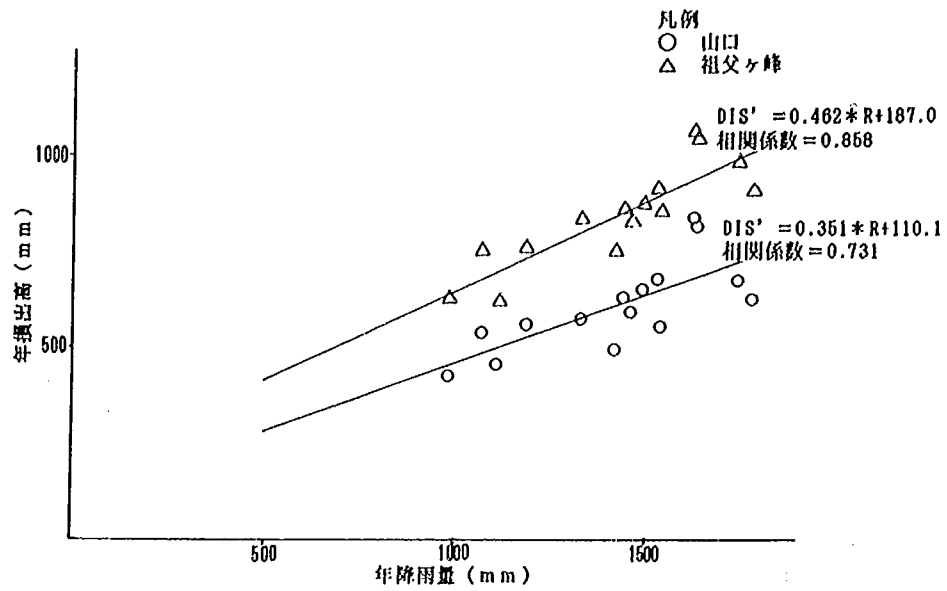


図 3.11 年降雨量と年損失量

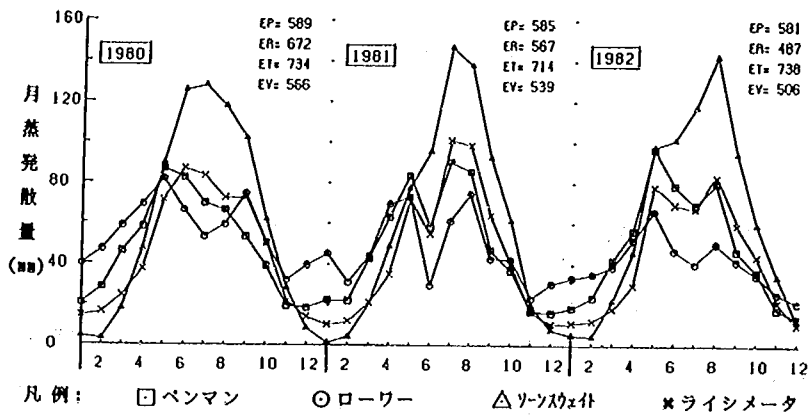


図 3.12 各種手法による月蒸発散量の推定

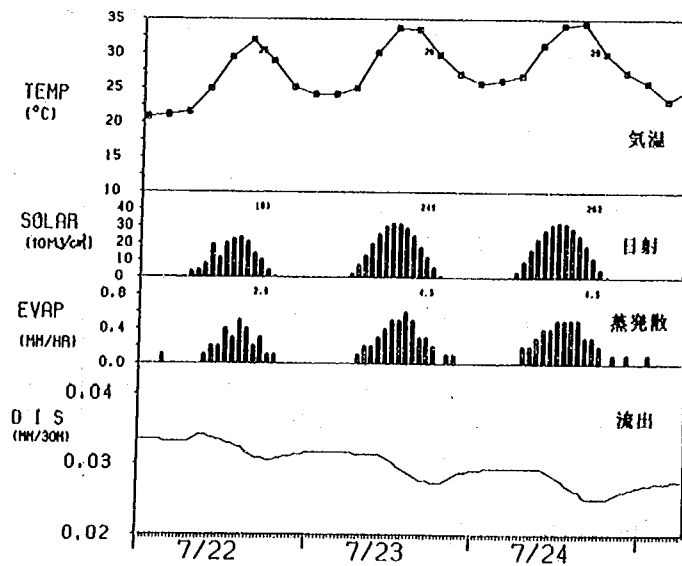


図 3.13 蒸発散量と山口の流量変動

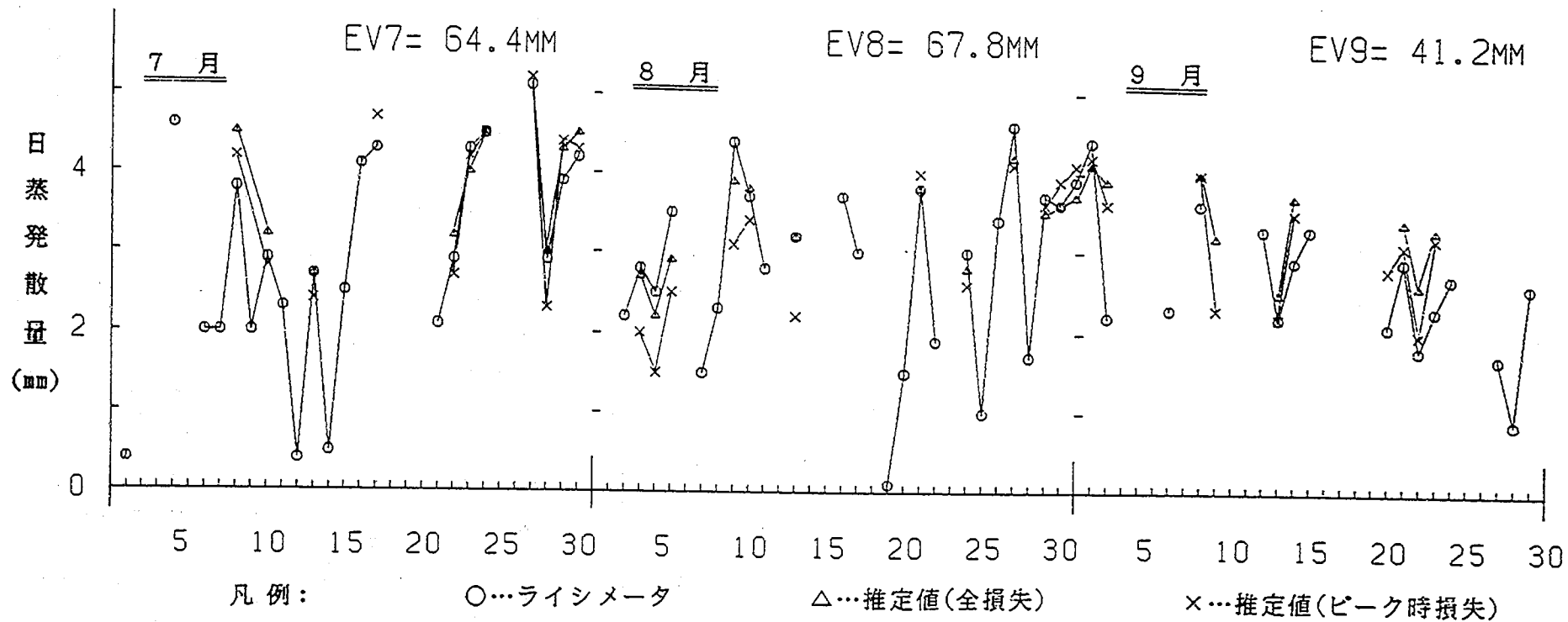


図 3.14 山口損出高を用いて求めた蒸発散量推定値

3・3 短期流出特性

降雨時における流出特性を調べるため洪水流出率、流出係数について検討を行った。解析は10分データを解析対象とした水文データを表3.8に示す。

3・3・1 洪水流出率、流出係数の計算方法

3・3・1・1 洪水流出率

洪水流出率 f は総直接流出高 Q_t と総降雨量 R_t との比で表される (式3.1)。

$$f = \frac{Q_t}{R_t} \dots\dots\dots (式3.1)$$

総直接流出高 (Q_t) は総流出高から基底流出成分を取り除いたものである。基底流出成分をどの様に考えるかによって色々な分離手法がある。ここでは、次に示す3種類の分離手法によって総直接流出高を求め洪水流出率の算定を行った。

(1) 変曲点法 (右上がり直線分離法)

ハイドログラフを片対数上に描き、逓減部の変曲点部Bと基底流量点Aを直線で結び分離する方法 (図3.15)。

$$Q = \int_{t_A}^{t_B} q(t) dt - \frac{1}{2} (q_A + q_B) (t_B - t_A) \dots\dots\dots (式3.2)$$

(2) 水平分離法

基底流量点Aより水平に直線を引きハイドログラフとの交点Cで分離する方法 (図3.16)。

本解析では逓減特性を分析し標準逓減曲線を推定し、変曲点Bより標準逓減曲線を描き、基底流量点Aの延長線との交点をCとしてA-Cにより分離した。

$$q_C = q_B e^{-\alpha t_2} \dots\dots\dots (式3.3)$$

$$\alpha t_2 = \ln(q_B / q_C) \dots\dots\dots (式3.4)$$

$$t_2 = 1 / \alpha \cdot \ln(q_B / q_C) \dots\dots\dots (式3.5)$$

$$\therefore Q_t = \int_{t_A}^{t_B} (q(t) - q_A) dt + \int_0^{t_2} q_B e^{-\alpha t} dt - q_A \cdot t_2 \dots\dots\dots (式3.6)$$

(3) 標準逓減曲線法

標準逓減曲線を用い、基底流量点A及び変曲点Bより、標準逓減曲線を描き分離する方法 (図3.17)。

$$Q_t = \int_{t_A}^{t_B} q(t) dt - \int_0^{\infty} q_A e^{-\alpha t} dt + \int_0^{\infty} q_B e^{-\alpha t} dt \dots\dots\dots (式3.7)$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ q_A / \alpha & & q_B / \alpha \end{array}$$

$$\therefore Q_t = \left[q(t) \right]_{t_A}^{t_B} - \frac{q_A}{\alpha} + \frac{q_B}{\alpha} \dots\dots\dots (式3.8)$$

Q_t : 総直接流出高 (mm)

α : 逓減係数

q_A : 基底流量A点での流出高 (mm/10分)

q_B : 変曲点Bでの流出高 (mm/10分)

q_C : 交点Cでの流出高 (mm/10分)

t_A : Aでの時刻 (10分)

t_B: Bでの時刻 (10分)

t₂: BよりCまでの時間 (10分)

3.3.1.2 流出係数

流出係数とは、流域から流出する洪水のピーク流量を推定するために常用されている合理式（ラショナル式）において最も重要でかつ決定が困難な定数である。合理式は式3.9で表される。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f_p \cdot r \cdot A \quad \dots\dots\dots (式3.9)$$

Q_p: 洪水ピーク流量 (m³/sec)

f_p: 流出係数

r: 洪水到達時間内平均降雨強度 (mm/hour)

A: 流域面積 (km²)

ピーク流量が上式のように表されるためには、表面流出した洪水流が流域内の各点から時間的に等分布で到達する（単位図法において長方形波形の単位図となる）ことが必要であるが、実際には、到達時間は流域形状、降雨強度などによって等分布ではなく、この式は厳密に言えば不合理である。したがって、流出係数 f_p は、単なる有効降雨比率だけではなく、式自体のあいまいさによるばらつきも含めて一つの式で表した実用値である。

流出係数をもとめる際には洪水到達時間内の平均降雨強度（r）を求めなければならない。洪水到達時間は、流域の最遠点から観測地点までの洪水流下時間として定義される。しかし、この到達時間をこの定義にしたがって厳密に決定することは困難であり、多くの場合実用的な手法によって流域の洪水到達時間を求めている。今回の解析では以下に示す2手法を用いて解析を行った。

(1) 土研式

流域の地形特性である流路勾配及び平均勾配から推定する方法であり洪水到達時間は式3.10及び式3.11により定義される。

(都市流域)

$$T = 2.40 \times 10^{-4} (1/\sqrt{S})^{0.7} \quad \dots\dots\dots (式3.10)$$

(自然流域)

$$T = 1.67 \times 10^{-3} (1/\sqrt{S})^{0.7} \quad \dots\dots\dots (式3.11)$$

T: 洪水到達時間 (hour)

l: 流域最遠点から観測点までの流路延長 (m)

s: 流域最遠点から観測点までの平均勾配

(2) 2t_g法

洪水の遅れ時間（流域降雨と流出量とのピーク時差）の2倍を t_p とする方法（式3.12, 図3.18）。

$$t_p = 2 \cdot t_g \quad \dots\dots\dots (式3.12)$$

3.3.2 解析結果

3.3.2.1 遅減特性

流出量ハイドログラフの遅減部の形状は、無降雨でかつ流域内に大きな変化が無い場合、個々の観測所で固有のパターンをとることが知られている。各流出における遅減部を時間軸方向に移動して集めると、末端部を中心に多くの共通部分を認めることができる。この共通部分およびそれから外挿される曲

線を標準遅減曲線と呼び次式で近似している。

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (式3.13)$$

Q_0 : 初期の流量

Q_t : t 時間後の流量

α : 地下水流出量の遅減係数

当試験地においても遅減部に多くの共通部を認められることから、遅減係数 α を求めた。結果を表3.9に、代表的なハイドログラフを図3.19に示す。

表3.9より山口、祖父ヶ峰における遅減係数を次のように推定した。

山口観測所 $\alpha = 0.0075$

祖父ヶ峰観測所 $\alpha = 0.0065$

3.3.2.2 洪水流出率

洪水流出率の算定結果を表3.10～3.11に示す。洪水流出率算出時に重要となる総直接流出高算出は、変曲点法、水平分離法、遅減曲線法の3手法を用いた。

1) 総降雨量－総直接流出高

総直接流出高と総降雨量の関係を図3.20～3.21に示す。総直接流出高は変曲点法、水平分離法、遅減曲線法の順番で大きな値となる。総直接流出高は総降雨量の増加に伴って増加しており、とくに水平分離法により算出した総直接流出高と総降雨量との相関は高い。

2) 総降雨量－洪水流出率

洪水流出率と総降雨量との関係を図3.22～3.23に示す。変曲点法、水平分離法による洪水流出率は、総降雨量増加に伴い増加する傾向が見られるが、遅減曲線法による流出率は総降雨50mm以下でばらつきが大きく明瞭な傾向は見受けられなかった。山口の洪水流出率は、変曲点法、水平分離法を用いた場合、概ね0.05～0.3程度、祖父ヶ峰では0.02～0.15程度である。

図3.24に他の流出試験地〔南大沢流出試験地（流域面積0.968km²）、美和流出試験（流域面積1.36km²）、宝川流出試験地（流域面積1.18km²）〕での洪水流出率（分離法は水平分離法により洪水ピークから24時間で打ち切った）を示す。裏筑波流出試験地の洪水流出率は、他の流出試験地における洪水流出率と比べ非常に小さい値であり、洪水時の流出の小さな流域と言える。この原因としては、流域の土壌が非常に透水性のよい風化花こう岩によって構成されており、降雨のかなりの部分が浸透し地下水流出となりすぐには流出しないためと考えられる。

3) 洪水流出率－流出関係因子

洪水流出率と流出に影響を与えられとされる因子について解析を行った。解析地点は祖父ヶ峰とし対象期間は1987～1988年とし21洪水を選んだ。流出関係因子は総降雨量、降雨パターン、先行降雨、洪水開始直前の土壌の体積含水率の4項目について調べた。降雨パターンは目視により、集中型、分散型、その他に分類した。洪水初期の体積含水率は小沢流域に設置したテンシオメータよりT2-20cm、T2-50cm、T3-50cmの3ヶ所のデータを用い、水分特性曲線により体積含水率に変換した。

図3.25に洪水流出率と総降雨量の関係を示す。これより総降雨量が大きいと流出率も大きくなっていることがわかる。また、降雨パターンによっても洪水流出率は変動し、分散型の降雨だと洪水流出率は小さく、集中型の降雨だと洪水流出率は大きくなる傾向がある。

図3.26に洪水流出率と体積含水率の関係を示す。プロットした点の脇の数字は総降雨量である。体積

含水率が大きいと洪水流出率は大きくなる傾向があるがデータのばらつきが大きい、そこで、総降雨量と合わせて見てみると、同じ体積含水率でも総降雨量が大きいと洪水流出率が大きいことがわかる。降雨パターンによる違いは見受けられなかった。

前記より洪水流出率は体積含水率と相関があることが分かった。そこで体積含水率を左右する先行降雨量との関係を図3.27に示す。しかし、データのばらつきが大きく明瞭な結果を見いだすにいたらなかった。

3. 3. 2. 3 流出係数

1) 洪水到達時間

洪水到達時間の算定は土研式および2 t g法により行った。算定結果を表3.12～3.13に示す。

土研式は自然流域の式(式3.11)を用い、山口は1(流域最遠点から観測点までの流路延長)が1680m、 s (流域最遠点から観測点までの平均勾配)が0.065であるから洪水到達時間は50分となる。祖父ヶ峰は1が860m、 s は0.214なので洪水到達時間は20分となる。

2 t g法で求めた洪水到達時間の頻度分布を図3.28に示す。山口の洪水到達時間は概ね20～200分、祖父ヶ峰で概ね0～120分となっており、流域面積の大きい山口の方が洪水到達時間が長く分布の範囲も広がっている。

次に、洪水到達時間と降雨特性について調べてみる。降雨特性の指標として以下の指標を用いた。

- ① 総降雨量 降雨全体的規模
- ② 洪水到達時間内平均降雨強度 ピーク降雨の規模

図3.29に総降雨量と洪水到達時間の関係を示す。総降雨量が小さいとき洪水到達時間は大きくばらついている。しかし、総降雨量の増加とともに洪水到達時間のばらつきは小さくなり洪水到達時間が短くなっている。また、洪水到達時間内平均降雨強度との関係についても同じことがいえる(図3.30)。

2) 流出係数

図3.31に土研式により求めた流出係数と2 t g法により求めた流出係数を示す。図より2 t g法を用いて計算した流出係数は山口では0.02～0.3、祖父ヶ峰では0.01～0.15であるのに対し、土研式を用いて計算した流出係数はこれらより大きな値となっており図中には記載していないが山口では1以上の流出係数も算出されている。洪水到達時間は2 t g法を用いて求めると図3.28の通りある幅をもって算出されるが、これを土研式では地形形状のみによって決定した固定値としているために、流出係数に誤差が集中してしまったものと考えられる。

(1) 洪水到達時間内平均降雨強度－流出係数

図3.32～3.33に洪水到達時間内平均降雨強度と流出係数との関係を示す。洪水到達時間内平均降雨強度が小さいときに流出係数が大きくなっており負の相関がある。

(2) ピーク雨量－流出係数

図3.34～3.35にピーク雨量と流出係数の関係を示す。値はかなりばらついており、相関は見受けられなかった。

(3) 流出係数－洪水流出率

図3.36～3.37に流出係数と洪水流出率との関係を示す。洪水流出率が大きいと流出係数も大きくなっているが値のばらつきも大きく、特に逓減曲線法を用いて洪水流出率を算出した場合ばらつきが大きい。

表 3.8 (1) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨量観測所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S44-01	S44.06.14.13		○			○	
S44-02	S44.06.21.20		○			○	
S44-03	S44.06.25.19		○			○	
S44-04	S44.07.08.14		○			○	
S44-05	S44.07.28.19		○			○	
S44-06	S44.07.31.15		○			○	
S44-07	S44.08.04.19		○			○	
S44-08	S44.08.23.09		○			○	
S44-09	S44.09.02.15		○			○	
S44-10	S44.09.07.18		○			○	
S44-11	S44.09.07.18		○			○	
S44-12	S44.10.01.06		○			○	
S44-13	S44.10.08.12		○			○	
S44-14	S44.10.25.03	○	○	○		○	○
S44-15	S44.10.27.05	○	○	○		○	○
S44-16	S44.11.15.23	○	○	○		○	○
S44-17	S44.12.07.18		○	○		○	○
S45-01	S45.01.30.15	○	○	○		○	○
S45-02	S45.05.07.01	○	○	○		○	○
S45-03	S45.05.16.23	○	○	○		○	○
S45-04	S45.05.20.19	○	○	○		○	○
S45-05	S45.06.01.06	○	○	○		○	○
S45-06	S45.06.14.21	○	○	○		○	○
S45-07	S45.06.19.00	○	○	○		○	○
S45-08	S45.07.01.04	○	○	○		○	○
S45-09	S45.08.29.17	○	○	○		○	○
S45-10	S45.09.16.10	○	○	○		○	○
S45-11	S45.09.23.16	○	○	○		○	○
S45-12	S45.10.17.04	○	○	○		○	○
S45-13	S45.11.19.01	○	○	○		○	○
S46-01	S46.04.22.08	○	○	○		○	○
S46-02	S46.04.29.00	○	○	○		○	○
S46-03	S46.05.06.11		○	○		○	○
S46-04	S46.08.08.15	○	○	○		○	○
S46-05	S46.08.06.22	○	○	○		○	○
S46-06	S46.08.30.20	○	○	○		○	○
S46-07	S46.09.06.09	○	○	○		○	○
S46-08	S46.09.26.11	○	○	○		○	○
S46-09	S46.10.04.17	○	○	○		○	○
S46-10	S46.10.10.00	○	○	○		○	○
S46-11	S46.10.30.00	○	○	○		○	○
S46-12	S46.12.27.09	○	○	○		○	○
S47-01	S47.01.11.08	○	○	○		○	○
S47-02	S47.01.15.06		○	○		○	○
S47-03	S47.02.13.07		○	○		○	○
S47-04	S47.02.26.17		○	○		○	○
S47-05	S47.04.07.07	○	○	○		○	○
S47-06	S47.04.12.02	○	○	○		○	○

表 3.8 (2) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨量観測所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S47-07	S47.04.15.11	○	○	○		○	○
S47-08	S47.04.23.17	○	○	○		○	○
S47-09	S47.04.30.21	○	○	○		○	○
S47-10	S47.05.04.21	○	○	○		○	○
S47-11	S47.05.21.18	○	○	○		○	○
S47-12	S47.06.09.19	○	○	○		○	○
S47-13	S47.07.14.21	○	○	○		○	○
S47-14	S47.07.31.17	○	○	○		○	○
S47-15	S47.08.07.06	○	○	○		○	○
S47-16	S47.08.21.22	○	○	○		○	○
S47-17	S47.09.01.18	○	○	○		○	○
S47-18	S47.09.12.16	○	○	○		○	○
S47-19	S47.09.15.10	○	○	○		○	○
S47-20	S47.09.20.21	○	○	○		○	○
S47-21	S47.12.23.19	○	○	○		○	○
S48-01	S48.01.24.18	○	○	○		○	○
S48-02	S48.04.12.15	○	○	○		○	○
S48-03	S48.04.15.13	○	○	○		○	○
S48-04	S48.04.27.00	○	○	○		○	○
S48-05	S48.05.02.13	○	○	○		○	○
S48-06	S48.05.28.17	○	○	○		○	○
S48-07	S48.06.06.20	○	○	○		○	○
S48-08	S48.06.08.16	○	○	○		○	○
S48-09	S48.07.02.01	○	○	○		○	○
S48-10	S48.08.04.13	○	○	○		○	○
S48-11	S48.08.06.19	○	○	○		○	○
S48-12	S48.08.24.03	○	○	○		○	○
S48-13	S48.09.05.04	○	○	○		○	○
S48-14	S48.09.09.22	○	○	○		○	○
S48-15	S48.09.13.20	○	○	○		○	○
S48-16	S48.10.13.12	○	○	○		○	○
S48-17	S48.10.21.04	○	○	○		○	○
S48-18	S48.10.28.05	○	○	○		○	○
S48-19	S48.11.10.00	○	○	○		○	○
S49-01	S49.04.21.20	○	○	○		○	○
S49-02	S49.05.31.01	○	○	○		○	○
S49-03	S49.06.13.19	○	○	○		○	○
S49-04	S49.06.18.00	○	○	○		○	○
S49-05	S49.07.21.00	○	○	○		○	○
S49-06	S49.08.31.21	○	○	○		○	○
S49-07	S49.10.22.07		○	○		○	○
S49-08	S49.11.17.21		○	○		○	○
S50-01	S50.03.20.16	○	○	○		○	○
S50-02	S50.04.21.10	○	○	○		○	○
S50-03	S50.05.19.03	○	○	○		○	○
S50-04	S50.06.07.00	○	○	○		○	○
S50-05	S50.06.29.17		○	○		○	○
S50-06	S50.07.03.23		○	○		○	○

表 3.8 (3) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨 量 観 測 所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S50-07	S50.07.21.12	○	○			○	○
S50-08	S50.09.23.09	○	○			○	
S50-09	S50.09.29.00	○	○	○		○	○
S50-10	S50.10.05.12	○	○	○		○	○
S50-11	S50.11.06.12	○	○			○	○
S50-12	S50.11.15.05	○	○			○	○
S50-13	S50.11.19.12	○	○			○	○
S50-14	S50.06.05.06	○	○			○	○
S51-01	S51.04.06.22	○				○	○
S51-02	S51.04.14.19	○	○	○		○	○
S51-03	S51.05.08.18	○	○			○	○
S51-04	S51.06.04.22	○	○			○	○
S51-05	S51.06.15.19	○	○			○	○
S51-06	S51.07.10.16	○	○			○	○
S51-07	S51.07.18.11	○	○			○	○
S51-08	S51.08.02.16	○	○			○	○
S51-09	S51.08.30.13			○		○	○
S51-10	S51.09.21.17	○	○			○	○
S51-11	S51.10.09.08	○	○			○	○
S51-12	S51.10.20.09	○	○			○	○
S51-13	S51.10.24.04	○	○			○	○
S52-01	S52.03.30.02	○				○	○
S52-02	S52.04.29.15	○	○			○	○
S52-03	S52.05.15.07	○	○	○		○	○
S52-04	S52.06.14.12	○	○	○		○	○
S52-05	S52.06.17.02	○	○	○		○	○
S52-06	S52.06.24.09	○	○	○		○	○
S52-07	S52.07.06.20	○	○	○		○	○
S52-08	S52.07.11.15	○	○			○	○
S52-09	S52.07.15.19	○	○			○	○
S52-10	S52.08.06.18		○	○		○	○
S52-11	S52.08.13.10	○		○		○	○
S52-12	S52.08.15.15	○		○		○	○
S53-01	S53.08.16.18	○	○	○		○	
S53-02	S53.09.04.20	○	○	○		○	
S53-03	S53.09.11.04		○	○		○	
S53-04	S53.10.20.01	○	○	○		○	
S54-01	S54.05.08.01	○	○	○		○	○
S54-02	S54.05.14.07	○	○	○		○	○
S54-03	S54.05.29.20	○	○	○		○	○
S54-04	S54.08.24.16		○	○		○	○
S54-05	S54.09.23.21	○	○	○		○	○
S54-06	S54.09.26.20	○	○	○		○	○
S54-07	S54.10.06.11	○	○	○		○	○
S54-08	S54.10.11.00	○	○	○		○	○
S54-09	S54.10.18.16	○	○	○		○	○
S54-10	S54.11.10.10	○	○	○		○	○

表 3.8 (4) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨 量 観 測 所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S55-01	S55.03.07.11	○	○	○		○	○
S55-02	S55.03.29.20	○	○	○		○	○
S55-03	S55.07.15.21		○	○		○	○
S55-04	S55.07.28.23		○	○		○	○
S55-05	S55.08.19.01	○	○	○		○	○
S55-06	S55.09.08.11	○	○	○		○	○
S55-07	S55.09.09.18	○	○	○		○	○
S55-08	S55.10.14.16	○	○	○		○	○
S55-09	S55.10.19.15	○	○	○		○	○
S55-10	S55.11.21.17	○	○			○	○
S56-01	S56.03.14.23	○	○		○	○	○
S56-02	S56.05.07.02	○	○	○	○	○	○
S56-03	S56.05.17.18	○	○	○	○	○	○
S56-04	S56.07.19.18	○	○	○	○	○	○
S56-05	S56.07.22.14	○	○	○	○	○	○
S56-06	S56.08.22.12	○	○	○	○	○	○
S56-07	S56.08.28.06	○	○	○	○	○	○
S56-08	S56.09.25.12	○	○	○	○	○	○
S57-01	S57.01.04.18	○	○	○	○	○	○
S57-02	S57.04.14.11	○		○	○	○	○
S57-03	S57.04.30.11	○		○	○	○	○
S57-04	S57.05.03.20	○		○	○	○	○
S57-05	S57.05.07.00	○		○	○	○	○
S57-06	S57.05.31.18	○	○	○	○	○	○
S57-07	S57.06.03.06	○	○	○	○	○	○
S57-08	S57.06.26.21	○	○	○	○	○	○
S57-09	S57.07.07.06	○	○	○	○	○	○
S57-10	S57.07.17.02	○	○	○	○	○	○
S57-11	S57.07.31.19	○	○	○	○	○	○
S57-12	S57.08.21.01	○	○	○	○	○	○
S57-13	S57.08.19.14	○	○	○	○	○	○
S57-14	S57.09.10.11	○	○	○	○	○	○
S57-15	S57.09.11.15	○	○	○	○	○	○
S57-16	S57.09.25.06	○	○	○	○	○	○
S57-17	S57.10.02.13	○	○	○	○	○	○
S57-18	S57.10.19.18	○	○	○	○	○	○
S57-19	S57.11.05.05	○	○	○	○	○	○
S57-20	S57.11.30.00	○	○	○	○	○	○
S58-01	S58.03.10.08	○		○	○	○	○
S58-02	S58.03.13.00	○		○	○	○	○
S58-03	S58.04.01.00	○		○	○	○	○
S58-04	S58.04.10.14	○		○	○	○	○
S58-05	S58.04.16.10	○		○	○	○	○
S58-06	S58.04.22.06	○		○	○	○	○
S58-07	S58.05.06.14	○		○	○	○	○
S58-08	S58.05.15.12	○		○	○	○	○
S58-09	S58.06.12.14	○		○	○	○	○
S58-10	S58.06.20.14	○		○	○	○	○

表 3.8 (5) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨量観測所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S58-11	S58.06.24.08	○		○		○	○
S58-12	S58.07.27.12	○		○	○	○	○
S58-13	S58.08.15.02	○		○	○	○	○
S58-14	S58.09.01.10	○		○	○	○	○
S58-15	S58.09.07.14	○		○	○	○	○
S59-01	S59.02.23.08	○			○	○	○
S59-02	S59.02.26.12	○				○	○
S59-03	S59.04.04.18	○		○		○	○
S59-04	S59.05.01.02	○		○		○	○
S59-05	S59.05.31.18	○		○		○	○
S59-06	S59.06.13.10	○		○		○	○
S59-07	S59.06.22.22	○		○		○	○
S59-08	S59.06.26.12	○		○		○	○
S59-09	S59.06.29.00	○		○		○	○
S59-10	S59.07.05.12	○		○		○	○
S59-11	S59.07.13.08	○		○		○	○
S59-12	S59.08.02.16	○		○		○	○
S59-13	S59.08.08.14	○		○		○	○
S59-14	S59.08.20.16	○		○		○	○
S59-15	S59.10.12.06	○		○		○	○
S59-16	S59.11.15.00	○		○		○	○
S59-17	S59.12.11.12	○		○		○	○
S59-18	S59.12.16.18	○		○		○	○
S60-01	S60.02.08.20	○		○		○	○
S60-02	S60.02.19.00	○		○		○	○
S60-03	S60.02.28.04	○		○		○	○
S60-04	S60.03.14.04	○		○		○	○
S60-05	S60.03.17.10	○		○		○	○
S60-06	S60.04.04.00	○		○		○	○
S60-07	S60.04.22.22	○		○		○	○
S60-08	S60.06.13.02	○		○		○	○
S60-09	S60.06.18.12	○		○		○	○
S60-10	S60.06.30.08	○		○		○	○
S60-11	S60.07.21.16	○		○		○	○
S60-12	S60.08.10.12	○		○		○	○
S60-13	S60.08.11.12	○		○		○	○
S60-14	S60.08.19.22	○		○		○	○
S60-15	S60.08.30.10	○		○		○	○
S60-16	S60.09.23.14	○		○		○	○
S60-17	S60.10.05.18	○		○		○	○
S60-18	S60.10.11.02	○		○		○	○
S60-19	S60.10.14.02	○		○		○	○
S60-20	S60.11.05.20	○		○		○	○
S61-01	S61.03.19.12	○		○		○	○
S61-02	S61.04.22.00	○		○		○	○
S61-03	S61.04.28.06	○		○		○	○
S61-04	S61.05.14.12	○		○		○	○
S61-05	S61.05.29.12	○		○		○	○

表 3.8 (6) 水文データ一覧表

洪水NO	生起年月日	雨量観測所				流量観測所	
		祖父ヶ峰	上本社	土俵場	北本社	山口	祖父ヶ峰
S61-06	S61.06.16.12	○		○		○	○
S61-07	S61.06.19.18	○		○		○	○
S61-08	S61.06.25.12	○		○		○	○
S61-09	S61.07.21.00	○		○		○	○
S61-10	S61.08.03.12	○				○	○
S61-11	S61.09.01.12	○				○	○
S61-12	S61.09.13.12	○		○		○	○
S61-13	S61.12.14.18	○		○		○	○
S61-14	S61.12.19.00	○		○		○	○
S62-01	S62.03.24.02	○		○		○	○
S62-02	S62.05.23.02	○		○		○	○
S62-03	S62.05.24.03	○		○		○	○
S62-04	S62.07.03.07	○		○		○	○
S62-05	S62.07.15.15	○		○		○	○
S62-06	S62.07.25.14	○		○		○	○
S62-07	S62.07.26.18	○		○		○	○
S62-08	S62.08.15.17	○		○		○	○
S62-09	S62.09.25.05	○		○		○	○
S62-10	S62.10.06.07	○		○		○	○
S62-11	S62.10.24.09	○		○		○	○
S62-12	S62.11.04.04	○		○		○	○
S63-01	S63.03.22.00	○		○		○	○
S63-02	S63.05.12.00	○		○		○	○
S63-03	S63.05.22.12	○		○		○	○
S63-04	S63.06.02.16	○		○		○	○
S63-05	S63.07.14.06	○		○		○	○
S63-06	S63.07.28.10	○		○		○	○
S63-07	S63.08.02.08	○		○		○	○
S63-08	S63.08.11.05	○		○		○	○
S63-09	S63.08.29.14	○		○		○	○
S63-10	S63.09.01.22	○		○		○	○
S63-11	S63.09.25.00	○		○		○	○

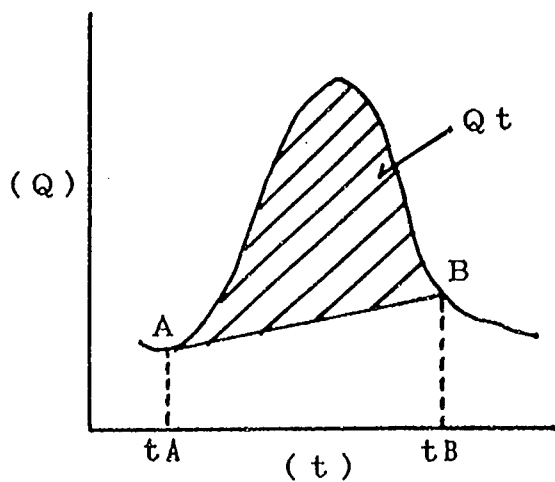


図 3.15 変曲点法

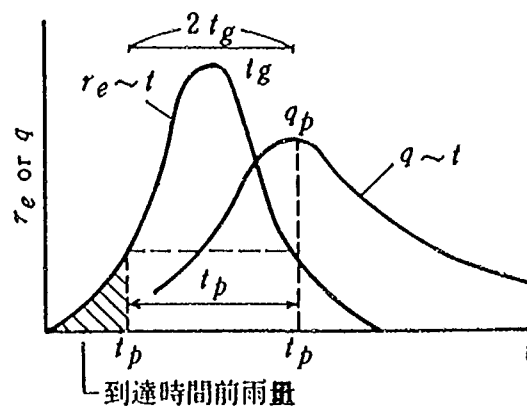


図 3.18 洪水到達時間の推定法

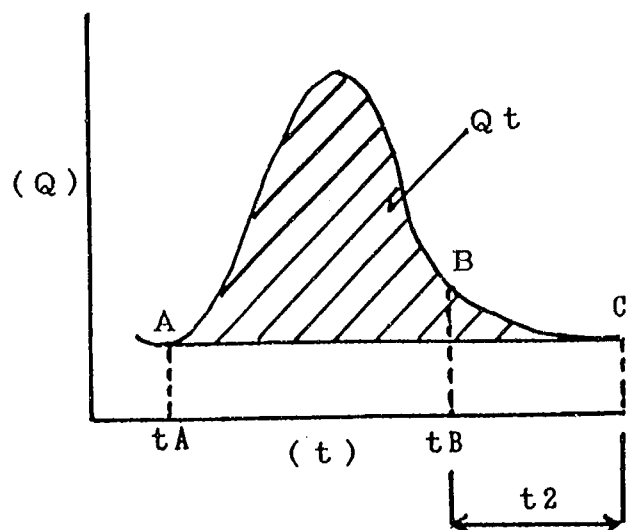


図 3.16 水平分離法

表 3.9 逕減係数一覧表

山口観測所		祖父ヶ峰観測所	
洪水NO	逕減係数 α	洪水NO	逕減係数 α
44- 2	10.90×10^{-3}	45- 4	5.69×10^{-3}
-12	7.50 //	-11	6.27 //
-17	4.82 //	46-12	6.42 //
47-12	0.63 //	51- 2	6.90 //
48- 2	13.20 //	- 5	6.24 //
51- 3	5.95 //	56- 1	6.95 //

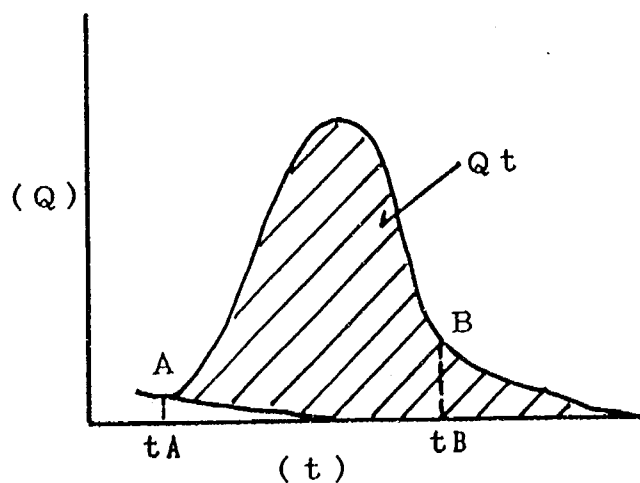


図 3.17 逕減曲線法

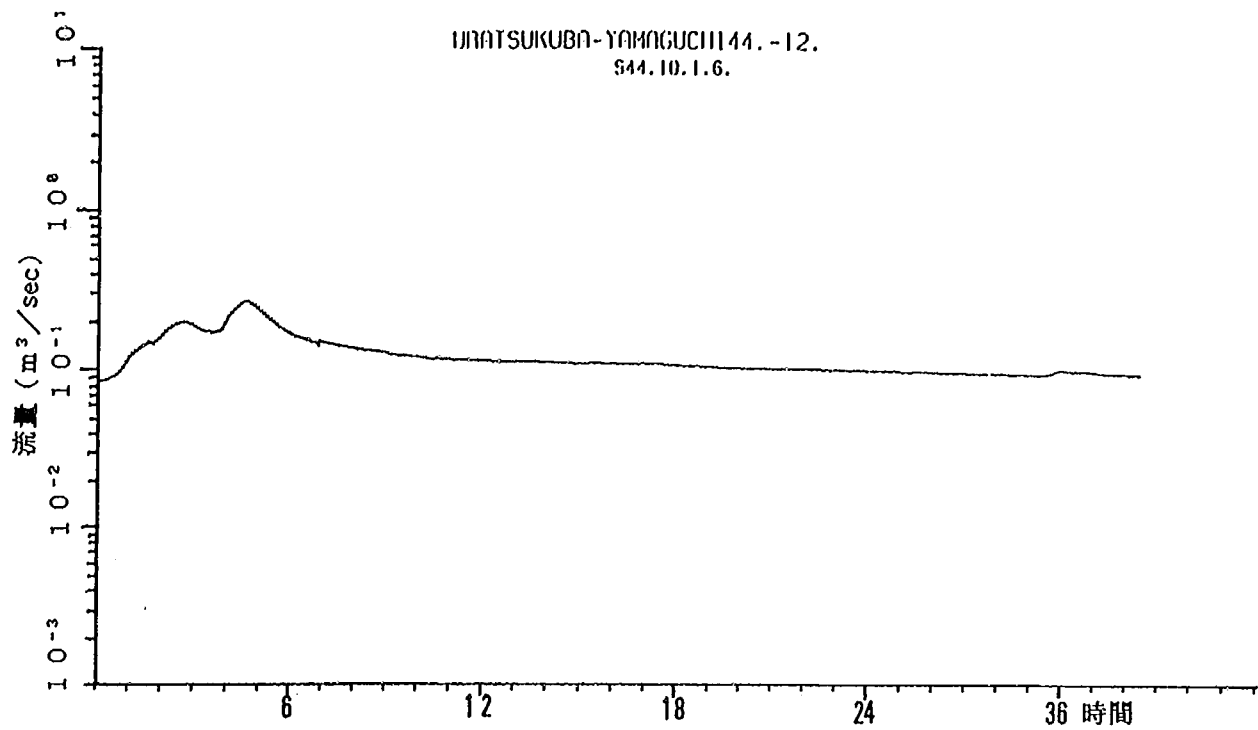


図 3. 19 (1) 逓減特性代表ハイドログラフ (山口)

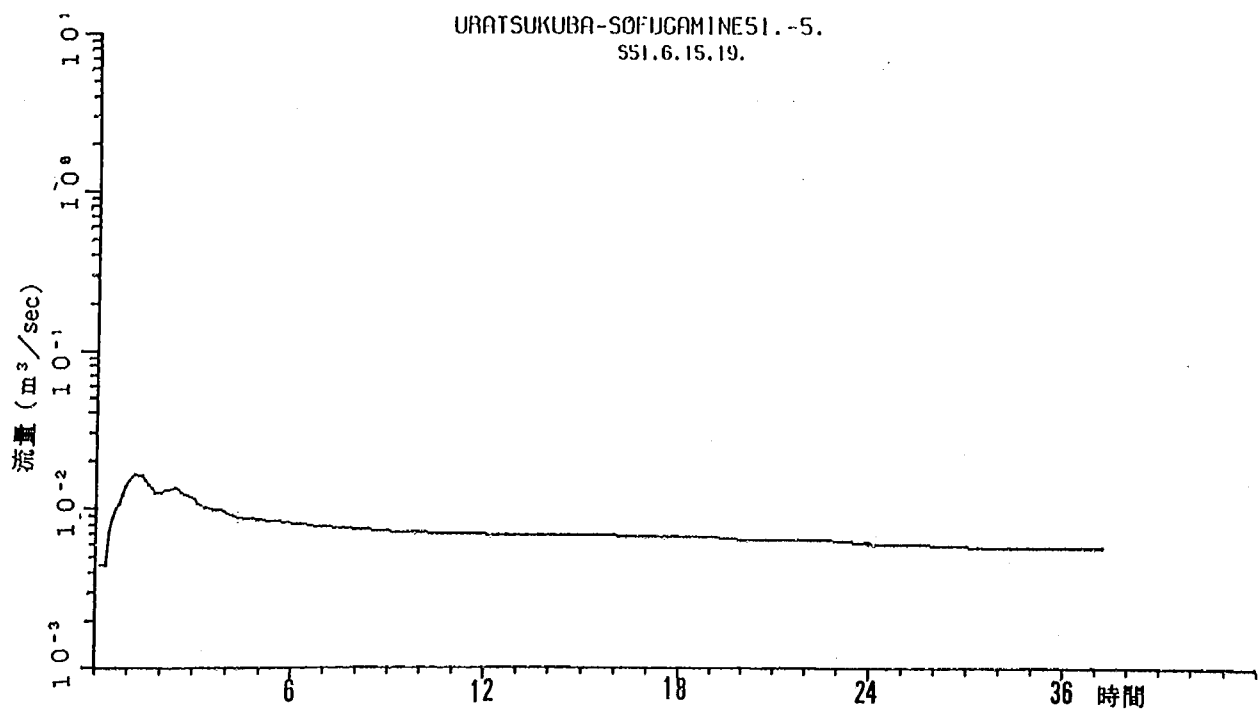


図 3. 19 (2) 逓減特性代表ハイドログラフ (祖父ヶ峰)

表 3.10 (1) 山口観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	h [*] -7雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	逆減曲線法	変曲点法	水平分離法	逆減曲線法
S44-01	S44.06.14	17.0	5.0	0.081	0.379	0.816	2.182	0.043	0.048	0.128
S44-02	S44.06.21	34.0	2.0	0.103	2.280	3.029	6.155	0.067	0.069	0.181
S44-03	S44.06.25	24.5	2.5	0.129	2.438	2.698	6.303	0.100	0.110	0.257
S44-04	S44.07.08	25.5	4.0	0.182	1.116	1.706	5.664	0.044	0.067	0.222
S44-05	S44.07.28	12.0	3.5	0.092	0.226	0.282	1.198	0.022	0.023	0.100
S44-06	S44.07.31	22.0	6.0	0.083	0.842	1.082	2.555	0.038	0.049	0.118
S44-07	S44.08.04	20.0	2.5	0.140	1.140	1.201	3.338	0.057	0.060	0.167
S44-08	S44.08.23	51.0	5.0	0.072	2.579	3.015	5.197	0.051	0.059	0.102
S44-09	S44.09.02	32.0	2.0	0.070	1.166	1.421	2.874	0.036	0.044	0.090
S44-10	S44.09.07	14.0	3.5	0.076	0.626	0.799	2.001	0.045	0.057	0.143
S44-11	S44.09.24	16.5	2.0	0.081	1.063	2.003	5.247	0.064	0.121	0.318
S44-12	S44.10.01	29.5	1.5	0.086	1.153	1.543	3.879	0.039	0.052	0.131
S44-13	S44.10.08	49.0	2.5	0.079	1.884	3.157	5.868	0.038	0.064	0.120
S44-14	S44.10.25	67.5	2.0	0.123	3.635	4.256	8.321	0.054	0.063	0.123
S44-15	S44.10.27	10.2	2.8	0.144	0.321	0.480	2.110	0.031	0.047	0.207
S44-16	S44.11.15	29.5	1.3	0.073	1.105	1.529	3.524	0.037	0.052	0.119
S44-17	S44.12.07	18.0	4.0	0.075	0.746	0.886	2.226	0.041	0.049	0.124
S45-01	S45.01.30	36.1	2.8	0.066	2.064	2.439	4.341	0.057	0.067	0.120
S45-02	S45.05.07	20.0	1.5	0.088	1.176	1.288	3.244	0.059	0.064	0.102
S45-03	S45.05.16	57.2	2.0	0.070	2.480	4.319	7.421	0.043	0.076	0.130
S45-04	S45.05.20	32.8	2.0	0.075	1.521	1.799	3.882	0.046	0.055	0.118
S45-05	S45.06.01	30.0	3.0	0.069	1.393	1.706	3.219	0.046	0.057	0.107
S45-06	S45.06.14	37.5	0.5	0.099	1.488	1.584	3.827	0.040	0.042	0.102
S45-07	S45.06.19	40.0	1.5	0.099	3.062	4.386	8.038	0.077	0.110	0.201
S45-08	S45.07.01	8.0	1.2	0.132	0.710	1.142	4.403	0.088	0.142	0.503
S45-10	S45.09.16	17.0	3.5	0.062	0.468	0.486	1.314	0.028	0.029	0.077
S45-11	S45.09.23	19.2	2.8	0.063	0.769	0.939	2.076	0.040	0.049	0.108
S45-12	S45.10.17	28.5	1.0	0.056	1.156	1.580	3.604	0.041	0.055	0.126
S45-13	S45.11.19	141.4	2.5	0.126	6.151	20.729	29.318	0.043	0.147	0.207
S46-01	S46.04.22	12.3	1.0	0.071	0.585	0.674	2.084	0.048	0.055	0.170
S46-02	S46.04.29	96.2	6.3	0.150	11.047	15.808	22.750	0.115	0.164	0.236
S46-03	S46.05.06	30.3	1.0	0.101	1.701	2.499	6.323	0.056	0.082	0.208
S46-04	S46.08.08	29.1	0	0.043	0.820	0.955	1.752	0.028	0.033	0.060
S46-05	S46.08.16	34.7	10.2	0.045	2.226	2.571	3.918	0.064	0.074	0.113
S46-06	S46.08.30	161.0	8.0	0.126	25.411	30.103	37.634	0.158	0.187	0.234
S46-07	S46.09.06	73.5	4.0	0.170	4.433	11.599	18.854	0.060	0.157	0.257
S46-08	S46.09.26	75.6	9.1	0.115	7.361	8.805	13.582	0.097	0.116	0.180
S46-09	S46.10.04	25.4	1.1	0.131	0.977	1.306	4.608	0.038	0.051	0.181
S46-11	S46.10.30	34.3	7.3	0.138	2.320	3.626	8.593	0.068	0.106	0.250
S46-12	S46.12.27	34.6	1.5	0.078	1.724	2.010	4.424	0.050	0.058	0.128
S47-01	S47.01.11	99.9	1.5	0.084	7.395	10.843	16.121	0.074	0.109	0.161
S47-02	S47.01.15	24.9	1.2	0.117	1.226	1.675	4.741	0.049	0.067	0.191
S47-03	S47.02.13	33.1	3.8	0.198	1.913	2.728	7.683	0.058	0.082	0.232
S47-04	S47.02.26	46.5	2.6	0.274	3.800	4.353	10.613	0.082	0.094	0.228
S47-06	S47.04.12	23.5	0.8	0.098	0.908	1.418	4.518	0.039	0.060	0.193
S47-07	S47.04.15	13.3	1.0	0.155	1.801	1.730	5.822	0.136	0.130	0.439
S47-08	S47.04.23	23.2	0.9	0.117	2.048	2.541	5.824	0.088	0.110	0.251
S47-09	S47.04.30	14.4	0.2	0.115	1.376	1.670	4.899	0.095	0.116	0.340
S47-10	S47.05.04	40.0	1.1	0.112	4.585	8.445	14.807	0.115	0.211	0.370
S47-11	S47.05.21	28.7	4.1	0.119	2.081	2.389	4.634	0.073	0.084	0.162

表 3.10 (2) 山口観測所流出率一覽表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒノコ雨量 (mm/10m)	基底流量 (m³/sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	逆減曲線法	変曲点法	水平分離法	逆減曲線法
S47-12	S47.06.09	34.4	9.3	0.887	2.863	3.223	5.797	0.083	0.094	0.169
S47-13	S47.07.14	43.8	7.3	0.088	2.012	3.283	5.867	0.046	0.075	0.134
S47-14	S47.07.31	8.9	8.8	0.077	0.190	0.216	0.884	0.021	0.024	0.099
S47-15	S47.08.07	17.0	1.8	0.137	0.439	0.192	1.546	0.026	0.011	0.091
S47-16	S47.08.21	15.0	2.0	0.118	0.650	0.294	2.796	0.043	0.020	0.186
S47-17	S47.09.01	10.8	1.8	0.086	0.332	0.322	1.086	0.031	0.030	0.101
S47-18	S47.09.12	18.5	9.4	0.070	0.957	1.853	3.635	0.052	0.100	0.196
S47-19	S47.09.15	20.3	4.2	0.257	1.460	1.433	5.491	0.072	0.070	0.270
S47-20	S47.09.20	13.9	6.5	0.107	0.602	0.724	2.051	0.043	0.052	0.147
S47-21	S47.12.23	68.9	1.7	0.042	2.974	4.211	6.661	0.044	0.083	0.100
S48-01	S48.01.24	10.2	0.7	0.081	0.751	1.046	2.495	0.074	0.103	0.245
S48-02	S48.04.12	50.3	15.6	0.041	3.163	4.150	6.115	0.063	0.083	0.122
S48-03	S48.04.15	35.3	1.0	0.062	1.212	2.693	5.534	0.034	0.076	0.157
S48-04	S48.04.27	18.8	1.5	0.056	0.957	1.360	3.113	0.051	0.072	0.166
S48-06	S48.05.28	46.3	1.0	0.056	2.028	2.610	4.775	0.044	0.056	0.103
S48-07	S48.06.06	24.0	1.5	0.141	0.455	0.765	3.211	0.019	0.032	0.134
S48-08	S48.06.08	18.5	9.3	0.086	0.968	1.242	3.309	0.052	0.067	0.179
S48-09	S48.07.02	18.7	6.0	0.081	0.579	0.698	1.986	0.031	0.037	0.106
S48-10	S48.08.04	101.0	22.6	0.039	8.517	10.090	12.133	0.084	0.100	0.120
S48-11	S48.08.08	43.4	12.1	0.081	3.644	4.447	7.207	0.084	0.102	0.166
S48-12	S48.08.24	11.7	7.2	0.049	0.853	1.191	2.635	0.073	0.102	0.225
S48-13	S48.09.05	21.0	2.0	0.051	1.181	1.352	2.852	0.056	0.064	0.136
S48-14	S48.09.09	11.2	3.0	0.058	0.351	0.372	1.251	0.031	0.033	0.111
S48-15	S48.09.13	32.0	2.5	0.055	1.630	1.966	3.723	0.051	0.061	0.116
S48-17	S48.10.21	39.0	1.5	0.062	2.727	3.544	6.354	0.070	0.091	0.163
S48-18	S48.10.28	31.5	2.0	0.057	1.605	2.099	4.115	0.051	0.067	0.131
S48-19	S48.11.10	62.2	6.7	0.138	4.915	6.157	10.013	0.079	0.099	0.161
S49-01	S49.04.21	9.3	1.0	0.092	1.026	1.026	2.350	0.111	0.111	0.253
S49-02	S49.05.31	25.5	1.8	0.072	1.033	0.953	7.091	0.041	0.037	0.082
S49-03	S49.06.13	47.2	13.7	0.056	6.573	8.034	11.648	0.139	0.170	0.247
S49-04	S49.06.18	40.9	1.8	0.078	3.246	3.975	7.521	0.079	0.097	0.184
S49-07	S49.10.22	25.1	0.7	0.091	1.096	1.283	3.692	0.044	0.051	0.147
S50-01	S50.03.20	34.8	2.0	0.061	1.626	2.854	5.415	0.047	0.082	0.156
S50-02	S50.04.21	50.5	1.2	0.059	3.649	4.430	6.779	0.072	0.088	0.134
S50-03	S50.05.19	0.2	0.8	0.119	0.733	0.637	2.635	3.022	2.625	10.865
S50-04	S50.06.07	27.0	3.0	0.147	0.968	0.795	1.971	0.036	0.029	0.073
S50-07	S50.07.21	36.4	6.1	0.086	1.840	2.100	5.043	0.051	0.058	0.139
S50-08	S50.09.23	11.8	1.6	0.167	2.634	2.534	7.709	0.223	0.214	0.651
S50-09	S50.09.29	43.0	1.4	0.097	2.926	3.159	6.794	0.068	0.074	0.158
S50-10	S50.10.05	39.0	1.5	0.088	2.644	4.794	8.202	0.068	0.123	0.210
S50-13	S50.11.19	35.0	1.0	0.132	2.306	5.149	10.503	0.068	0.147	0.300
S50-14	S50.06.05	15.0	6.5	0.081	0.640	0.435	2.417	0.043	0.029	0.161
S51-01	S51.04.06	11.5	3.5	0.074	1.044	1.142	2.759	0.091	0.099	0.240
S51-02	S51.04.14	31.1	1.7	0.075	1.757	2.256	4.785	0.057	0.073	0.154
S51-03	S51.05.08	35.3	6.1	0.079	1.780	2.201	4.568	0.050	0.062	0.129
S51-04	S51.06.04	55.8	6.0	0.237	4.029	5.053	13.283	0.072	0.091	0.238
S51-05	S51.06.15	34.3	3.3	0.144	1.435	2.035	5.141	0.042	0.059	0.150
S51-06	S51.07.10	41.1	8.7	0.136	2.640	3.353	6.752	0.084	0.082	0.164
S51-07	S51.07.18	15.3	7.0	0.177	1.740	2.581	5.682	0.114	0.169	0.372

表 3.10 (3) 山口観測所流出率一覽表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	h ² -7雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	逆減曲線法	変曲点法	水平分離法	逆減曲線法
S51-08	S51.08.02	11.6	5.6	0.145	0.844	0.865	2.180	0.072	0.074	0.187
S51-10	S51.09.21	24.9	1.0	0.115	1.965	2.783	7.278	0.079	0.112	0.293
S51-11	S51.10.09	31.8	1.2	0.148	4.520	4.979	9.349	0.142	0.167	0.294
S51-12	S51.10.20	12.2	2.1	0.129	1.979	2.978	6.945	0.163	0.245	0.571
S51-13	S51.10.24	30.0	1.0	0.133	1.137	2.222	6.116	0.038	0.074	0.204
S52-01	S52.03.30	67.0	1.5	0.073	4.486	5.745	9.889	0.067	0.086	0.148
S52-02	S52.04.29	18.8	1.5	0.064	0.535	0.718	1.957	0.029	0.038	0.104
S52-03	S52.05.15	102.9	4.0	0.077	10.507	12.739	16.871	0.102	0.124	0.164
S52-04	S52.06.14	25.0	6.6	0.058	0.735	0.894	1.872	0.029	0.036	0.075
S52-05	S52.06.17	17.6	0.4	0.115	2.616	3.354	10.483	0.149	0.191	0.597
S52-06	S52.06.24	35.8	1.5	0.172	1.823	2.024	5.991	0.051	0.057	0.167
S52-07	S52.07.08	63.9	9.5	0.086	2.815	3.623	6.499	0.044	0.057	0.102
S52-08	S52.07.11	20.8	5.5	0.094	0.675	0.913	2.709	0.032	0.044	0.130
S52-09	S52.07.15	13.0	5.0	0.080	0.315	0.506	1.628	0.024	0.039	0.125
S52-10	S52.08.06	21.5	2.7	0.062	2.277	2.355	4.081	0.106	0.110	0.190
S52-11	S52.08.13	70.3	2.2	0.145	6.172	6.506	11.342	0.088	0.093	0.161
S53-01	S53.08.16	10.2	5.7	0.039	0.468	0.557	1.167	0.046	0.055	0.115
S53-02	S53.09.04	41.1	4.2	0.061	3.192	3.347	5.023	0.078	0.081	0.122
S53-03	S53.09.11	15.9	6.8	0.057	0.459	0.506	1.198	0.029	0.032	0.075
S53-04	S53.10.20	13.8	3.5	0.081	0.529	0.467	1.329	0.038	0.034	0.096
S54-01	S54.05.08	54.9	4.5	0.102	4.583	4.958	8.522	0.083	0.090	0.155
S54-02	S54.05.14	91.0	3.5	0.157	17.487	23.922	32.498	0.192	0.263	0.357
S54-03	S54.05.29	2.5	10.5	0.136	0.178	0.225	1.320	0.071	0.090	0.528
S54-04	S54.08.24	39.5	11.5	0.045	1.661	2.069	3.557	0.042	0.052	0.090
S54-05	S54.09.23	13.5	4.0	0.042	0.421	0.508	1.142	0.031	0.038	0.085
S54-06	S54.09.26	13.5	2.5	0.059	1.777	2.631	4.399	0.132	0.195	0.326
S54-07	S54.10.06	38.5	3.0	0.087	5.157	8.299	13.469	0.141	0.227	0.369
S54-08	S54.10.11	34.5	3.0	0.105	1.308	2.208	5.027	0.038	0.064	0.146
S54-09	S54.10.18	8.5	5.0	0.187	7.857	9.429	15.356	0.924	1.109	1.807
S54-10	S54.11.10	46.5	1.0	0.130	3.124	3.188	7.095	0.067	0.069	0.153
S55-01	S55.03.07	32.5	1.5	0.058	1.794	2.503	4.922	0.055	0.077	0.151
S55-02	S55.03.29	28.0	2.5	0.146	1.916	1.578	3.860	0.068	0.056	0.138
S55-03	S55.07.15	14.5	2.9	0.101	0.565	0.672	3.661	0.039	0.046	0.253
S55-04	S55.07.28	12.7	4.6	0.109	0.247	0.161	1.284	0.019	0.012	0.101
S55-05	S55.08.19	22.9	6.9	0.089	0.686	0.678	1.891	0.030	0.030	0.083
S55-06	S55.09.06	30.6	7.0	0.078	1.489	1.614	3.526	0.049	0.059	0.115
S55-07	S55.09.09	66.6	10.3	0.123	0.195	22.405	31.979	0.003	0.337	0.480
S55-08	S55.10.14	35.3	2.1	0.061	1.106	1.455	3.025	0.031	0.041	0.086
S55-09	S55.10.19	30.7	2.5	0.066	3.420	4.884	8.655	0.112	0.159	0.282
S55-10	S55.11.21	34.8	1.1	0.069	1.579	2.058	4.257	0.045	0.059	0.122
S56-01	S56.03.14	33.5	2.5	0.057	1.928	2.213	3.870	0.058	0.066	0.116
S56-02	S56.05.07	45.9	2.9	0.074	3.066	5.640	9.412	0.067	0.123	0.205
S56-03	S56.05.17	29.4	7.6	0.113	2.254	2.519	5.136	0.077	0.086	0.174
S56-04	S56.07.19	18.5	5.3	0.062	0.933	1.061	2.220	0.050	0.057	0.120
S56-05	S56.07.22	42.0	8.5	0.074	1.852	2.403	4.329	0.044	0.057	0.103
S56-06	S56.08.22	36.0	1.4	0.107	4.190	4.377	7.498	0.116	0.122	0.206
S56-07	S56.08.28	36.5	13.0	0.068	4.301	5.486	8.965	0.118	0.150	0.246
S56-08	S56.09.25	26.8	1.1	0.066	1.364	2.117	4.845	0.051	0.079	0.181

表 3.10 (4) 山口観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	h ² -q雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	遞減曲線法	変曲点法	水平分離法	遞減曲線法
S57-01	S57.01.04	22.8	1.9	0.090	1.116	0.956	3.109	0.049	0.042	0.136
S57-02	S57.04.14	60.0	4.2	0.151	5.413	5.496	8.828	0.090	0.092	0.147
S57-03	S57.04.30	14.7	1.8	0.062	0.403	0.381	1.242	0.027	0.026	0.084
S57-04	S57.05.03	23.2	4.6	0.055	1.137	1.266	2.717	0.049	0.054	0.117
S57-05	S57.05.07	20.4	1.4	0.055	0.752	0.974	2.409	0.037	0.048	0.118
S57-06	S57.05.31	30.6	1.4	0.050	1.062	1.306	3.143	0.035	0.043	0.103
S57-07	S57.06.03	12.4	2.6	0.115	0.559	0.609	1.989	0.045	0.049	0.160
S57-08	S57.06.26	26.3	0.9	0.085	1.121	1.513	3.837	0.043	0.058	0.146
S57-09	S57.07.07	24.1	0.9	0.067	1.049	1.088	3.382	0.044	0.045	0.141
S57-10	S57.07.17	15.8	2.6	0.084	0.803	0.545	2.799	0.051	0.034	0.177
S57-11	S57.07.31	30.1	3.4	0.157	2.455	2.494	5.553	0.082	0.083	0.185
S57-12	S57.08.21	78.2	3.5	0.140	7.039	8.421	15.204	0.090	0.108	0.194
S57-13	S57.08.19	9.3	0.9	0.072	0.325	0.399	1.408	0.035	0.043	0.151
S57-14	S57.09.10	21.6	2.0	0.065	0.665	1.022	2.392	0.031	0.047	0.111
S57-16	S57.09.25	37.1	2.9	0.129	3.752	4.524	9.974	0.101	0.122	0.269
S57-17	S57.10.02	22.3	0.9	0.110	1.034	1.158	4.532	0.046	0.052	0.203
S57-18	S57.10.19	57.9	2.1	0.117	3.856	5.043	9.474	0.067	0.087	0.164
S57-19	S57.11.05	24.8	2.1	0.101	1.064	1.099	4.738	0.043	0.044	0.191
S57-20	S57.11.30	21.6	3.2	0.103	0.909	0.972	3.774	0.042	0.045	0.174
S58-01	S58.03.10	21.6	0.9	0.060	0.517	0.799	2.659	0.024	0.037	0.123
S58-02	S58.03.13	44.2	1.6	0.064	2.862	3.768	7.516	0.065	0.085	0.170
S58-03	S58.04.01	52.6	2.1	0.068	2.790	4.401	7.487	0.058	0.084	0.142
S58-04	S58.04.10	42.8	1.5	0.062	2.186	3.093	5.880	0.051	0.072	0.137
S58-05	S58.04.16	24.1	0.8	0.078	2.022	3.202	8.137	0.084	0.133	0.338
S58-06	S58.04.22	15.6	1.0	0.096	0.321	0.717	2.819	0.021	0.046	0.180
S58-07	S58.05.06	18.1	2.1	0.070	0.513	0.909	3.497	0.028	0.050	0.193
S58-08	S58.05.15	46.5	3.4	0.079	3.845	5.038	9.407	0.083	0.108	0.203
S58-09	S58.06.12	56.0	3.2	0.062	2.763	3.886	6.848	0.049	0.069	0.122
S58-10	S58.06.20	65.6	2.5	0.066	4.318	6.342	9.918	0.066	0.097	0.151
S58-11	S58.06.24	30.7	5.0	0.092	1.725	2.302	5.209	0.056	0.075	0.170
S58-12	S58.07.27	19.0	3.5	0.074	0.949	1.160	3.585	0.050	0.061	0.189
S58-13	S58.08.15	75.1	4.2	0.096	7.820	10.375	17.581	0.104	0.138	0.234
S58-14	S58.09.01	41.3	11.0	0.076	1.992	2.419	4.349	0.048	0.059	0.105
S58-15	S58.09.07	56.3	13.2	0.073	5.032	10.184	14.041	0.089	0.181	0.250
S59-01	S59.02.23	16.3	2.2	0.045	0.588	0.712	1.966	0.036	0.044	0.120
S59-02	S59.02.26	40.0	2.0	0.048	1.011	1.215	3.345	0.025	0.030	0.084
S59-03	S59.04.04	27.9	1.2	0.069	0.989	1.797	4.542	0.035	0.064	0.163
S59-04	S59.05.01	28.5	5.4	0.050	1.042	1.368	3.053	0.036	0.048	0.107
S59-05	S59.05.31	16.9	6.2	0.043	2.934	3.445	5.121	0.174	0.204	0.303
S59-06	S59.06.13	40.8	2.0	0.046	1.618	2.478	4.577	0.040	0.061	0.112
S59-07	S59.06.22	49.3	2.1	0.057	2.911	4.142	6.878	0.059	0.084	0.139
S59-08	S59.06.26	40.8	1.6	0.075	1.740	3.085	6.966	0.043	0.076	0.171
S59-09	S59.06.29	45.1	2.9	0.096	2.448	3.605	7.339	0.054	0.080	0.163
S59-10	S59.07.05	14.7	6.8	0.071	0.782	0.979	2.434	0.053	0.067	0.166
S59-11	S59.07.13	13.7	2.9	0.077	0.376	0.527	1.825	0.027	0.038	0.133
S59-12	S59.08.02	22.6	10.6	0.052	0.816	1.059	2.151	0.036	0.047	0.095
S59-13	S59.08.08	10.5	5.3	0.056	0.709	0.846	2.042	0.067	0.081	0.194
S59-14	S59.08.20	10.4	3.7	0.043	0.271	0.462	1.731	0.026	0.044	0.166
S59-15	S59.10.12	43.9	1.8	0.038	1.993	2.465	4.305	0.045	0.056	0.098
S59-16	S59.11.15	19.0	2.0	0.033	0.800	1.114	2.738	0.042	0.059	0.144
S59-17	S59.12.11	35.6	0.6	0.032	1.257	1.608	3.023	0.035	0.045	0.085

表 3.10 (5) 山口観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒノケ雨量 (mm/10m)	基底流量 (m³/sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	遅減曲線法	変曲点法	水平分離法	遅減曲線法
S59-18	S59.12.16	18.7	0.6	0.035	0.702	1.257	2.739	0.038	0.067	0.147
S60-01	S60.02.08	76.2	2.8	0.032	6.271	6.536	8.840	0.069	0.086	0.116
S60-02	S60.02.19	57.6	1.0	0.033	3.521	5.838	8.737	0.061	0.101	0.162
S60-03	S60.02.28	33.8	0.8	0.041	1.248	1.969	4.280	0.037	0.058	0.127
S60-04	S60.03.14	15.2	1.0	0.058	0.819	1.168	3.090	0.054	0.077	0.204
S60-05	S60.03.17	37.5	1.7	0.055	2.071	3.148	5.783	0.055	0.084	0.154
S60-06	S60.04.04	34.2	6.4	0.051	1.390	2.200	4.346	0.041	0.064	0.127
S60-07	S60.04.22	59.7	4.6	0.057	3.205	5.327	8.122	0.054	0.089	0.136
S60-08	S60.06.13	38.8	1.0	0.056	1.354	2.318	5.553	0.035	0.060	0.143
S60-09	S60.06.18	100.4	1.6	0.052	5.925	11.617	16.864	0.059	0.116	0.168
S60-10	S60.06.30	124.0	3.3	0.172	17.887	25.022	36.580	0.144	0.202	0.295
S60-11	S60.07.21	90.2	12.8	0.086	6.685	8.589	12.135	0.074	0.095	0.135
S60-12	S60.08.10	32.2	12.1	0.081	1.158	1.393	2.814	0.036	0.043	0.087
S60-13	S60.08.11	33.8	6.0	0.102	2.055	2.333	5.248	0.061	0.069	0.155
S60-14	S60.08.19	24.1	3.1	0.075	0.772	1.107	2.989	0.032	0.046	0.124
S60-15	S60.08.30	94.0	5.7	0.066	5.162	9.177	13.282	0.055	0.098	0.141
S60-16	S60.09.28	49.1	2.2	0.022	1.509	2.677	4.501	0.031	0.055	0.092
S60-17	S60.10.05	46.4	1.3	0.025	1.200	2.286	3.910	0.026	0.049	0.084
S60-18	S60.10.11	19.4	0.9	0.082	0.706	1.438	4.660	0.036	0.074	0.240
S60-19	S60.10.14	43.8	5.6	0.088	2.048	3.930	7.285	0.047	0.090	0.166
S60-20	S60.11.05	44.2	2.4	0.065	1.310	2.602	6.759	0.030	0.059	0.153
S61-01	S61.03.19	49.9	4.1	0.051	2.971	4.111	6.482	0.060	0.082	0.130
S61-02	S61.04.22	29.8	1.0	0.060	1.267	2.009	4.638	0.043	0.067	0.156
S61-03	S61.04.28	19.6	1.0	0.060	0.516	0.917	2.518	0.026	0.047	0.129
S61-04	S61.05.14	89.0	3.9	0.050	5.937	8.778	11.625	0.067	0.099	0.131
S61-05	S61.05.29	49.5	1.4	0.061	1.884	3.061	6.143	0.038	0.062	0.124
S61-06	S61.06.16	50.6	1.9	0.052	1.163	2.810	6.872	0.023	0.056	0.136
S61-07	S61.06.19	12.3	3.6	0.067	0.443	0.649	1.957	0.036	0.053	0.159
S61-08	S61.06.25	37.2	4.1	0.063	1.860	2.593	4.852	0.050	0.070	0.130
S61-09	S61.07.21	28.5	1.0	0.081	1.105	2.150	5.713	0.039	0.075	0.200
S61-10	S61.08.03	300.0	10.0	0.070	38.822	53.798	60.147	0.129	0.179	0.200
S61-11	S61.09.01	95.5	4.0	0.093	5.530	7.770	13.825	0.058	0.081	0.145
S61-12	S61.09.13	18.4	1.7	0.097	0.823	1.238	3.838	0.045	0.067	0.208
S61-13	S61.12.14	38.0	2.6	0.052	1.622	2.183	4.458	0.043	0.057	0.117
S61-14	S61.12.19	35.7	3.9	0.067	1.891	2.447	4.450	0.053	0.069	0.125
S62-01	S62.03.24	31.9	2.7	0.058	1.333	2.363	4.760	0.042	0.074	0.149
S62-02	S62.05.23	43.7	2.3	0.040	1.678	2.395	4.043	0.038	0.055	0.092
S62-03	S62.05.24	14.8	3.3	-	-	-	-	-	-	-
S62-04	S62.07.03	41.2	1.8	0.043	2.481	3.085	5.185	0.060	0.075	0.126
S62-05	S62.07.15	42.6	10.8	0.045	2.016	2.606	4.273	0.047	0.061	0.100
S62-06	S62.07.25	14.9	7.1	0.051	0.360	0.406	1.164	0.024	0.027	0.078
S62-07	S62.07.26	12.1	4.3	0.047	0.273	0.400	1.212	0.023	0.033	0.100
S62-08	S62.08.15	16.3	6.3	0.039	0.664	0.931	1.788	0.041	0.057	0.110
S62-09	S62.09.25	23.4	3.1	0.046	1.189	1.587	3.016	0.051	0.068	0.129
S62-10	S62.10.06	31.9	3.2	0.047	1.056	1.527	3.207	0.033	0.048	0.100
S62-11	S62.10.24	51.3	1.0	0.046	2.087	3.106	6.602	0.041	0.061	0.109
S62-12	S62.11.04	32.5	1.6	0.051	1.145	2.093	4.398	0.035	0.064	0.135
S63-01	S63.03.22	58.8	3.1	0.037	4.905	6.087	8.506	0.083	0.104	0.145
S63-02	S63.05.12	66.5	2.5	0.059	4.734	6.101	9.473	0.071	0.092	0.142

表 3. 10 (6) 山口観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	h [*] -r雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	逓減曲線法	変曲点法	水平分離法	逓減曲線法
S63-03	S63.05.22	55.6	1.3	0.062	2.159	4.194	8.010	0.039	0.075	0.144
S63-04	S63.06.02	51.2	2.2	0.058	3.299	4.706	8.611	0.064	0.092	0.168
S63-05	S63.07.14	104.8	1.5	0.078	10.676	13.062	21.015	0.101	0.125	0.200
S63-06	S63.07.28	69.5	4.0	0.095	4.548	11.553	16.657	0.065	0.166	0.240
S63-07	S63.08.02	25.5	3.0	0.157	0.602	0.819	3.550	0.024	0.032	0.139
S63-08	S63.08.11	142.0	12.0	0.267	15.540	32.238	52.078	0.109	0.227	0.367
S63-09	S63.08.29	13.5	4.0	0.161	0.293	0.539	2.682	0.022	0.040	0.199
S63-10	S63.09.01	19.0	6.5	0.135	0.261	0.437	2.147	0.014	0.023	0.113
S63-11	S63.09.25	110.6	7.4	0.224	10.539	15.283	27.817	0.095	0.138	0.252

表 3.11 (1) 祖父ヶ峰観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒケ雨量 (mm/10m)	基底流量 (m³/sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	遞減曲線法	変曲点法	水平分離法	遞減曲線法
S44-14	S44.10.25	66.0	2.0	0.005	3.055	3.644	7.274	0.046	0.055	0.110
S44-15	S44.10.27	9.2	2.8	0.006	0.361	0.304	2.090	0.039	0.033	0.226
S44-16	S44.11.15	26.8	1.3	0.004	0.757	0.795	2.333	0.028	0.030	0.087
S45-02	S45.05.07	15.0	1.5	0.003	0.790	0.954	2.283	0.053	0.064	0.162
S45-03	S45.05.16	55.1	2.0	0.003	1.608	2.842	5.199	0.029	0.052	0.094
S45-04	S45.05.20	32.3	2.0	0.003	0.916	1.231	2.815	0.028	0.038	0.087
S45-05	S45.06.01	30.0	1.5	0.003	1.017	1.220	2.341	0.034	0.041	0.078
S45-06	S45.06.14	37.5	2.0	0.003	1.101	1.204	2.648	0.029	0.032	0.071
S45-07	S45.06.19	37.5	1.5	0.004	1.917	2.520	5.203	0.051	0.067	0.139
S45-08	S45.07.01	13.5	1.5	0.005	0.515	0.727	2.565	0.038	0.054	0.190
S45-09	S45.08.29	13.6	2.0	0.003	0.395	0.395	0.965	0.029	0.029	0.071
S45-11	S45.09.23	19.2	3.0	0.002	0.600	0.732	1.646	0.031	0.038	0.086
S45-12	S45.10.17	25.5	1.0	0.001	0.747	1.507	2.481	0.029	0.059	0.097
S46-01	S46.04.22	11.8	1.0	0.002	0.308	0.287	0.833	0.026	0.024	0.071
S46-02	S46.04.29	105.7	6.3	0.002	8.455	11.434	14.317	0.080	0.108	0.135
S46-04	S46.08.08	29.1	8.0	0.001	0.775	0.952	1.623	0.027	0.033	0.056
S46-05	S46.08.16	34.7	10.2	0.001	1.132	1.356	2.104	0.033	0.039	0.081
S46-06	S46.08.30	160.0	8.0	0.003	15.092	17.785	21.973	0.094	0.111	0.137
S46-07	S46.09.06	77.5	4.0	0.004	2.167	9.363	14.192	0.028	0.121	0.183
S46-08	S46.09.26	77.1	9.1	0.003	4.510	6.728	9.761	0.058	0.087	0.127
S46-09	S46.10.04	27.9	1.1	0.004	0.829	1.100	3.951	0.030	0.039	0.142
S46-10	S46.10.10	15.8	0.8	0.004	0.480	0.740	2.606	0.030	0.047	0.165
S46-11	S46.10.30	34.8	1.4	0.005	1.665	2.852	7.033	0.048	0.082	0.202
S46-12	S46.12.27	33.1	1.8	0.005	0.979	0.869	2.754	0.030	0.026	0.083
S47-01	S47.01.11	102.3	2.2	0.004	4.898	7.998	12.816	0.048	0.078	0.125
S47-02	S47.01.15	24.7	1.2	0.006	1.026	1.231	4.761	0.042	0.050	0.193
S47-04	S47.02.26	46.5	2.6	0.006	2.441	2.520	6.197	0.062	0.054	0.133
S47-06	S47.04.12	24.9	0.8	0.004	0.877	1.407	4.060	0.035	0.056	0.163
S47-07	S47.04.15	22.2	1.0	0.004	0.608	1.034	3.493	0.027	0.046	0.157
S47-08	S47.04.23	22.5	0.8	0.004	0.599	0.623	2.506	0.027	0.028	0.111
S47-09	S47.04.30	14.6	1.6	0.003	0.545	0.624	2.481	0.037	0.043	0.170
S47-10	S47.05.04	10.5	6.3	0.005	0.745	0.905	2.775	0.071	0.086	0.263
S47-11	S47.05.21	28.7	4.1	0.004	0.727	1.752	4.893	0.025	0.061	0.171
S47-12	S47.06.09	34.4	9.3	0.003	1.153	1.153	2.499	0.034	0.034	0.073
S47-13	S47.07.14	43.8	9.6	0.002	1.181	1.658	3.118	0.027	0.038	0.071
S47-14	S47.07.31	8.9	8.8	0.002	0.174	0.263	0.839	0.020	0.029	0.094
S47-15	S47.08.07	17.5	1.8	0.004	0.479	0.444	0.872	0.027	0.025	0.050
S47-17	S47.09.01	10.8	1.3	0.003	0.370	0.302	0.982	0.034	0.028	0.091
S47-18	S47.09.12	18.8	9.4	0.002	0.506	0.671	1.512	0.027	0.036	0.081
S47-19	S47.09.15	19.3	4.2	0.007	1.054	1.102	3.463	0.054	0.057	0.179
S47-20	S47.09.20	14.0	6.5	0.004	0.521	0.504	1.773	0.037	0.036	0.127
S47-21	S47.12.23	54.7	1.7	0.003	2.240	2.674	5.032	0.041	0.049	0.092
S48-02	S48.04.12	50.3	15.6	0.001	2.916	3.915	5.319	0.058	0.078	0.106
S48-03	S48.04.15	34.5	0.2	0.003	0.962	1.913	4.197	0.028	0.055	0.122
S48-04	S48.04.27	14.3	1.5	0.003	0.411	0.389	1.145	0.029	0.027	0.080
S48-06	S48.05.28	46.8	1.0	0.002	1.463	1.984	3.522	0.031	0.042	0.075
S48-07	S48.06.06	13.5	1.0	0.006	0.270	0.359	1.673	0.020	0.027	0.124
S48-08	S48.06.08	18.5	9.3	0.003	0.445	0.858	2.222	0.024	0.046	0.120
S48-09	S48.07.02	11.2	6.0	0.002	0.409	0.588	1.528	0.036	0.052	0.136

表 3.11 (2) 祖父ヶ峰観測所流出率一覽表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	h [*] -雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分釐法	遞減曲線法	変曲点法	水平分釐法	遞減曲線法
S48-12	S48.08.24	12.2	7.2	0.001	0.219	0.350	0.836	0.018	0.029	0.068
S48-13	S48.09.05	16.0	2.0	0.003	0.500	0.511	1.276	0.031	0.032	0.080
S48-14	S48.09.09	11.2	3.7	0.002	0.254	0.309	0.826	0.023	0.028	0.074
S48-15	S48.09.13	30.3	2.5	0.002	1.025	1.120	2.185	0.034	0.037	0.072
S48-17	S48.10.21	39.0	1.5	0.002	1.702	2.556	4.630	0.044	0.066	0.119
S48-18	S48.10.28	32.3	2.0	0.003	0.940	1.412	2.860	0.029	0.044	0.089
S48-19	S48.11.10	65.5	6.7	0.004	3.260	4.361	7.143	0.050	0.067	0.109
S49-02	S49.05.31	28.0	1.8	0.002	0.775	0.907	1.821	0.028	0.032	0.065
S49-06	S49.08.31	99.1	5.3	0.010	7.225	7.884	12.806	0.073	0.080	0.129
S50-01	S50.03.20	31.5	2.0	0.003	1.347	1.627	3.392	0.043	0.052	0.108
S50-02	S50.04.21	44.2	1.2	0.002	2.137	2.398	3.648	0.048	0.054	0.093
S50-03	S50.05.19	9.5	0.8	0.004	0.400	0.335	1.234	0.042	0.035	0.130
S50-04	S50.06.07	28.0	3.0	0.003	0.803	0.849	1.914	0.029	0.030	0.068
S50-05	S50.06.29	15.0	12.5	0.002	0.447	0.678	1.594	0.030	0.045	0.106
S50-06	S50.07.03	97.0	2.0	0.004	5.775	8.128	12.011	0.060	0.084	0.124
S50-07	S50.07.21	36.4	6.5	0.003	1.132	1.759	3.601	0.031	0.048	0.099
S50-08	S50.09.23	7.1	1.3	0.005	0.178	0.265	0.039	0.025	0.037	0.005
S50-09	S50.09.29	39.7	1.2	0.001	0.561	1.740	2.911	0.014	0.044	0.073
S50-10	S50.10.05	35.5	4.0	0.004	0.623	1.179	2.970	0.018	0.033	0.084
S50-14	S50.06.05	15.0	6.5	0.002	0.524	0.550	1.370	0.035	0.037	0.091
S51-01	S51.04.06	11.0	-	0.003	0.858	0.995	2.538	0.078	0.090	0.231
S51-02	S51.04.14	30.0	2.9	0.002	0.892	1.209	2.464	0.030	0.040	0.082
S51-03	S51.05.08	34.5	6.1	0.002	0.855	1.157	2.289	0.025	0.034	0.066
S51-04	S51.06.04	33.2	6.0	0.005	5.157	9.343	16.207	0.155	0.281	0.488
S51-05	S51.06.15	35.3	3.3	0.004	1.260	2.076	4.744	0.036	0.059	0.135
S51-06	S51.07.10	41.6	8.7	0.006	1.110	1.712	4.152	0.027	0.041	0.100
S51-07	S51.07.18	15.3	7.8	0.007	0.679	0.896	2.698	0.044	0.059	0.177
S51-08	S51.08.02	11.6	5.6	0.007	0.580	0.603	1.677	0.050	0.052	0.144
S51-09	S51.09.21	26.1	1.0	0.004	1.836	2.145	4.861	0.070	0.082	0.186
S51-11	S51.10.09	37.6	2.4	0.005	3.421	3.732	6.796	0.091	0.099	0.181
S51-12	S51.10.20	8.8	2.2	0.005	1.129	1.218	3.731	0.129	0.139	0.426
S51-13	S51.10.24	17.5	1.0	0.006	0.623	0.598	2.857	0.035	0.034	0.163
S52-01	S52.03.30	63.0	1.5	0.002	2.516	2.989	5.497	0.040	0.047	0.087
S52-02	S52.04.29	15.2	1.5	0.002	0.531	0.635	1.904	0.035	0.042	0.125
S52-03	S52.05.15	104.4	4.0	0.002	5.895	8.692	11.381	0.056	0.083	0.109
S52-04	S52.06.14	25.0	6.6	0.002	0.459	0.551	1.348	0.018	0.022	0.054
S52-05	S52.06.17	22.4	1.1	0.002	0.354	0.818	2.043	0.016	0.037	0.091
S52-06	S52.06.24	38.3	1.0	0.005	1.384	1.420	4.388	0.036	0.037	0.115
S52-07	S52.07.06	63.7	9.5	0.003	2.328	2.921	4.934	0.037	0.046	0.078
S52-08	S52.07.11	20.8	5.5	0.003	0.439	0.605	1.746	0.021	0.029	0.084
S52-10	S52.08.06	21.5	2.7	0.002	1.553	1.707	2.932	0.072	0.079	0.136
S52-11	S52.08.13	59.6	3.5	0.005	4.540	5.480	9.677	0.076	0.092	0.162
S52-12	S52.08.15	25.3	7.0	0.009	1.200	1.806	4.958	0.048	0.071	0.196
S54-01	S54.05.08	50.9	4.5	0.003	3.100	4.034	6.867	0.061	0.079	0.135
S54-04	S54.08.24	39.5	11.5	0.002	1.193	1.240	1.873	0.030	0.031	0.047
S54-06	S54.09.26	13.5	2.5	0.001	0.018	0.029	0.146	0.001	0.002	0.011
S54-09	S54.10.18	46.0	5.0	0.007	6.161	6.684	12.132	0.134	0.145	0.264
S54-10	S54.11.10	47.5	1.0	0.004	2.091	2.288	4.704	0.044	0.048	0.099

表 3.11 (3) 祖父ヶ峰観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒノケ雨量 (mm/10m)	基底流量 (m³/sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分配法	逆減曲線法	変曲点法	水平分配法	逆減曲線法
S55-01	S55.03.07	13.0	1.5	0.004	0.695	0.652	1.524	0.053	0.050	0.117
S55-02	S55.03.29	29.5	2.5	0.005	1.315	1.243	2.520	0.045	0.042	0.085
S55-05	S55.08.19	22.6	3.9	0.003	0.502	0.557	1.759	0.022	0.025	0.078
S55-06	S55.09.08	30.6	7.0	0.002	0.869	1.110	2.032	0.028	0.036	0.066
S55-07	S55.09.09	56.0	10.3	0.003	2.814	3.789	5.751	0.050	0.068	0.103
S55-08	S55.10.14	35.3	1.8	0.002	1.094	1.194	2.329	0.031	0.034	0.066
S55-10	S55.11.21	33.5	1.4	0.002	1.052	1.669	3.259	0.031	0.050	0.097
S56-02	S56.05.07	33.4	2.9	0.005	1.876	1.876	4.169	0.056	0.056	0.125
S56-03	S56.05.17	29.4	7.6	0.003	1.437	1.643	3.213	0.049	0.056	0.109
S56-06	S56.08.22	30.2	4.7	0.004	2.201	2.068	3.363	0.073	0.069	0.111
S56-07	S56.08.28	36.0	13.0	0.002	1.625	2.162	3.696	0.045	0.060	0.102
S56-08	S56.09.25	27.5	1.1	0.003	0.640	0.722	2.004	0.023	0.026	0.073
S57-01	S57.01.04	22.8	1.9	0.003	0.677	0.618	1.659	0.030	0.027	0.073
S57-02	S57.04.14	60.0	4.2	0.007	4.530	4.332	7.145	0.075	0.072	0.119
S57-03	S57.04.30	14.7	1.8	0.002	0.323	0.290	0.802	0.022	0.020	0.055
S57-04	S57.05.03	23.5	4.4	0.002	0.617	0.749	1.537	0.026	0.032	0.065
S57-05	S57.05.07	22.2	1.4	0.002	0.487	0.679	1.573	0.022	0.031	0.071
S57-06	S57.05.31	30.6	0.9	0.002	0.632	0.813	1.881	0.021	0.027	0.061
S57-07	S57.06.03	13.5	2.6	0.004	0.697	0.529	2.530	0.052	0.039	0.188
S57-08	S57.06.26	26.8	0.9	0.003	0.797	0.983	2.426	0.030	0.037	0.091
S57-09	S57.07.07	24.1	0.6	0.002	0.510	0.617	1.571	0.021	0.026	0.065
S57-10	S57.07.17	15.4	2.6	0.002	0.399	0.377	0.868	0.026	0.024	0.056
S57-11	S57.07.31	32.9	1.9	0.003	1.667	1.903	3.547	0.051	0.058	0.108
S57-12	S57.08.02	75.4	3.5	0.004	4.974	6.502	10.527	0.066	0.086	0.140
S57-13	S57.08.19	9.3	5.2	0.002	0.291	0.389	1.126	0.031	0.042	0.121
S57-14	S57.09.10	21.5	1.0	0.002	0.436	0.691	1.602	0.020	0.032	0.075
S57-15	S57.09.11	118.3	10.0	0.007	15.104	19.330	26.124	0.128	0.163	0.221
S57-16	S57.09.25	37.1	2.9	0.004	1.243	2.495	5.195	0.034	0.067	0.140
S57-17	S57.10.02	22.1	0.9	0.004	0.446	0.749	2.446	0.020	0.034	0.110
S57-18	S57.10.19	57.9	2.2	0.005	2.876	4.330	7.846	0.050	0.075	0.136
S57-19	S57.11.05	24.8	2.1	0.005	0.736	0.800	2.534	0.030	0.032	0.102
S58-01	S58.03.10	21.6	0.9	0.002	0.542	0.779	2.184	0.025	0.036	0.101
S58-02	S58.03.13	44.2	1.6	0.002	1.623	2.258	4.584	0.037	0.051	0.104
S58-03	S58.04.01	52.6	2.1	0.003	2.300	3.134	5.527	0.044	0.060	0.105
S58-04	S58.04.10	42.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-
S58-05	S58.04.16	24.1	0.8	0.003	0.903	1.856	4.911	0.038	0.077	0.204
S58-06	S58.04.22	15.6	1.0	0.004	0.320	0.494	2.051	0.020	0.032	0.131
S58-07	S58.05.06	18.1	2.1	0.003	0.498	0.558	2.554	0.027	0.031	0.141
S58-08	S58.05.15	47.5	3.4	0.003	1.568	2.532	5.069	0.033	0.053	0.107
S58-09	S58.06.12	56.0	3.2	0.002	1.875	2.567	4.494	0.033	0.046	0.080
S58-10	S58.06.20	65.6	2.5	0.002	2.742	4.046	6.156	0.042	0.062	0.094
S58-11	S58.06.24	30.7	5.0	0.003	1.025	1.500	3.089	0.033	0.049	0.101
S58-12	S58.07.27	18.9	3.5	0.002	0.531	0.798	2.217	0.028	0.042	0.118
S58-13	S58.08.15	76.2	4.2	0.003	5.443	9.067	13.978	0.071	0.119	0.183
S58-14	S58.09.01	41.3	11.0	0.003	0.956	1.131	2.328	0.023	0.027	0.056
S58-15	S58.09.07	56.3	13.2	0.003	3.010	4.170	6.173	0.053	0.074	0.110
S59-01	S59.02.23	16.3	2.2	0.001	0.355	0.540	1.270	0.022	0.033	0.078
S59-02	S59.02.26	40.0	2.0	0.001	0.509	0.785	2.226	0.013	0.020	0.056
S59-03	S59.04.04	27.9	1.2	0.002	0.543	0.944	2.334	0.019	0.034	0.084

表 3.11 (4) 祖父ヶ峰観測所流出率一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒ・ク雨量 (mm/10m)	基底流量 (m ³ /sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分離法	遅減曲線法	変曲点法	水平分離法	遅減曲線法
S59-04	S59.05.01	28.5	5.4	0.002	0.647	1.568	3.072	0.023	0.055	0.100
S59-05	S59.05.31	16.9	6.2	0.001	1.633	1.797	2.739	0.097	0.106	0.162
S59-06	S59.06.13	40.8	2.0	0.001	0.966	1.438	2.539	0.024	0.035	0.062
S59-07	S59.06.22	49.3	2.1	0.001	1.808	2.526	3.972	0.037	0.051	0.080
S59-08	S59.06.26	40.8	1.6	0.002	1.157	2.098	4.287	0.028	0.051	0.105
S59-09	S59.06.29	45.1	2.9	0.003	1.832	2.792	5.440	0.041	0.062	0.121
S59-10	S59.07.05	14.7	6.8	0.002	0.524	0.624	1.350	0.036	0.043	0.092
S59-11	S59.07.13	13.7	2.9	0.002	0.283	0.401	1.259	0.021	0.029	0.092
S59-12	S59.08.02	22.6	10.6	0.002	0.570	0.758	1.538	0.025	0.033	0.060
S59-13	S59.08.08	10.5	5.3	0.002	0.531	0.672	1.398	0.051	0.064	0.133
S59-14	S59.08.20	10.4	3.7	0.001	0.161	0.325	1.141	0.015	0.031	0.109
S59-15	S59.10.12	43.9	1.8	0.001	1.315	1.686	2.721	0.030	0.038	0.062
S59-16	S59.11.15	19.0	2.0	0.001	0.765	1.005	2.116	0.040	0.053	0.111
S59-17	S59.12.11	35.6	0.6	0.001	1.093	1.380	2.291	0.031	0.039	0.064
S59-18	S59.12.16	18.7	0.6	0.001	0.560	1.126	2.204	0.030	0.060	0.118
S60-01	S60.02.08	76.2	2.8	0.001	3.882	5.259	6.611	0.051	0.069	0.087
S60-02	S60.02.19	57.6	1.0	0.002	2.404	4.981	9.184	0.042	0.086	0.159
S60-03	S60.02.28	33.8	0.8	0.002	1.084	1.822	4.009	0.032	0.054	0.118
S60-04	S60.03.14	15.2	1.0	0.003	0.816	1.082	3.218	0.054	0.071	0.212
S60-05	S60.03.17	37.5	1.7	0.003	1.410	1.736	4.041	0.038	0.046	0.108
S60-06	S60.04.04	34.5	6.4	0.002	1.202	1.561	3.055	0.035	0.045	0.088
S60-07	S60.04.22	59.7	4.6	0.002	2.379	4.040	6.174	0.040	0.068	0.103
S60-08	S60.06.13	38.8	1.0	0.002	1.055	1.551	3.543	0.027	0.040	0.091
S60-09	S60.06.18	100.4	1.6	0.002	5.550	8.737	12.591	0.055	0.087	0.125
S60-10	S60.06.30	124.0	3.3	0.007	12.057	18.380	27.850	0.097	0.148	0.225
S60-11	S60.07.21	90.2	12.8	0.003	5.261	5.783	8.205	0.058	0.064	0.091
S60-12	S60.08.10	32.2	12.1	0.003	0.733	0.876	1.875	0.023	0.027	0.058
S60-13	S60.08.11	33.8	6.0	0.004	1.351	1.351	3.348	0.040	0.040	0.099
S60-14	S60.08.19	24.1	3.1	0.003	0.785	0.954	2.412	0.033	0.040	0.100
S60-15	S60.08.30	94.0	5.7	0.002	4.520	6.183	8.959	0.048	0.066	0.095
S60-16	S60.09.28	49.1	2.2	0.002	1.397	2.603	5.792	0.028	0.053	0.118
S60-17	S60.10.05	46.4	1.3	0.003	1.816	2.625	5.750	0.039	0.057	0.124
S60-18	S60.10.11	19.4	0.9	0.003	0.503	0.914	2.978	0.026	0.047	0.153
S60-19	S60.10.14	43.8	5.6	0.003	1.556	2.455	4.697	0.036	0.056	0.107
S60-20	S60.11.05	44.2	2.4	0.002	0.873	1.591	4.343	0.020	0.036	0.098
S61-01	S61.03.19	49.9	4.1	0.002	2.570	3.387	5.238	0.052	0.068	0.105
S61-02	S61.04.22	29.8	1.0	0.002	0.848	1.254	3.103	0.028	0.042	0.104
S61-03	S61.04.28	19.6	1.0	0.002	0.406	0.686	1.844	0.021	0.035	0.094
S61-04	S61.05.14	89.0	3.9	0.002	5.357	7.873	10.028	0.060	0.088	0.113
S61-05	S61.05.29	49.5	1.4	0.002	1.406	2.060	4.261	0.028	0.042	0.086
S61-06	S61.06.16	50.6	1.9	0.002	0.800	1.554	4.141	0.016	0.031	0.082
S61-07	S61.06.19	12.3	3.6	0.002	0.185	0.271	0.947	0.015	0.022	0.077
S61-08	S61.06.25	37.2	4.1	0.002	1.272	1.619	2.984	0.034	0.043	0.090
S61-09	S61.07.21	28.5	1.0	0.003	0.351	1.089	3.684	0.012	0.038	0.129
S61-10	S61.08.03	300.0	10.0	0.003	34.565	44.573	49.638	0.115	0.149	0.165
S61-11	S61.09.01	95.5	4.0	0.003	4.327	6.324	10.574	0.045	0.066	0.111
S61-12	S61.09.13	18.4	1.7	0.003	0.532	0.725	2.295	0.029	0.039	0.125
S61-13	S61.12.14	38.0	2.6	0.002	1.295	1.774	3.510	0.034	0.047	0.092
S61-14	S61.12.19	35.7	3.9	0.002	1.450	2.064	3.765	0.041	0.058	0.106
S62-01	S62.03.24	31.9	2.7	0.002	0.758	1.380	3.017	0.024	0.043	0.095

表 3. 11 (5) 祖父ヶ峰観測所流出率一覽表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒ・ク雨量 (mm/10m)	基底流量 (m³/sec)	直接流出高(mm)			流出率		
					変曲点法	水平分配法	逓減曲線法	変曲点法	水平分配法	逓減曲線法
S62-02	S62.05.23	43.7	2.3	0.001	1.156	1.749	2.742	0.026	0.040	0.063
S62-03	S62.05.24	14.8	3.3	0.002	0.441	0.482	1.336	0.030	0.033	0.090
S62-04	S62.07.03	41.2	1.8	0.001	1.405	1.810	2.937	0.034	0.044	0.071
S62-05	S62.07.15	42.6	10.8	0.001	1.862	2.205	3.224	0.044	0.052	0.076
S62-06	S62.07.25	14.8	7.1	0.001	0.259	0.383	0.821	0.018	0.026	0.056
S62-07	S62.07.28	12.1	4.3	0.001	0.319	0.412	0.952	0.026	0.034	0.078
S62-08	S62.08.15	16.6	6.3	0.001	0.647	0.677	1.358	0.039	0.041	0.082
S62-09	S62.09.25	23.4	3.1	0.001	0.780	0.993	1.832	0.033	0.042	0.078
S62-10	S62.10.06	31.9	3.2	0.001	0.693	1.008	1.945	0.022	0.032	0.061
S62-11	S62.10.24	51.3	1.0	0.001	1.323	1.940	2.939	0.026	0.038	0.057
S62-12	S62.11.04	32.8	1.6	0.001	0.819	1.224	2.351	0.025	0.037	0.072
S63-01	S63.03.22	58.8	3.1	0.001	3.691	4.888	6.569	0.063	0.083	0.112
S63-02	S63.05.12	66.5	2.5	0.002	3.586	5.022	7.523	0.054	0.076	0.113
S63-03	S63.05.22	55.6	1.3	0.002	2.351	3.282	6.350	0.042	0.059	0.114
S63-04	S63.06.02	51.2	2.2	0.002	2.323	3.097	5.763	0.045	0.061	0.113
S63-05	S63.07.14	104.8	1.5	0.002	6.659	9.248	14.184	0.064	0.088	0.135
S63-06	S63.07.28	70.0	4.0	0.003	4.434	6.349	9.694	0.063	0.091	0.138
S63-07	S63.08.02	25.5	3.0	0.005	0.568	0.630	2.250	0.022	0.025	0.088
S63-08	S63.08.11	142.0	12.0	0.008	11.204	16.208	27.669	0.079	0.114	0.195
S63-09	S63.08.29	13.5	4.0	0.006	0.445	0.597	2.481	0.033	0.044	0.184
S63-10	S63.09.01	20.5	6.5	0.005	1.731	2.425	5.365	0.084	0.118	0.262
S63-11	S63.09.25	110.6	7.4	0.009	8.436	13.726	24.821	0.076	0.124	0.224

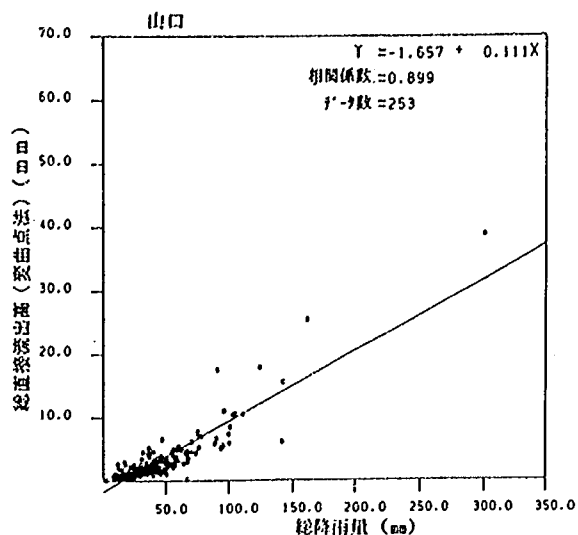


図 3.20 (1) 山口 総降雨量－総直接流出高(変曲点法)

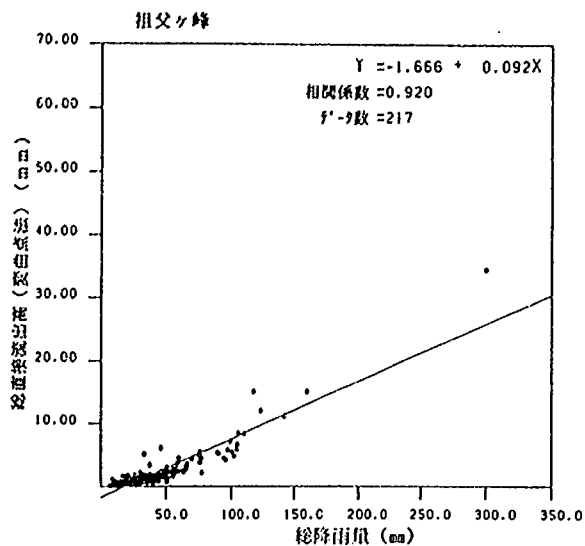


図 3.21 (1) 祖父ヶ峰 総降雨量－総直接流出高(変曲点法)

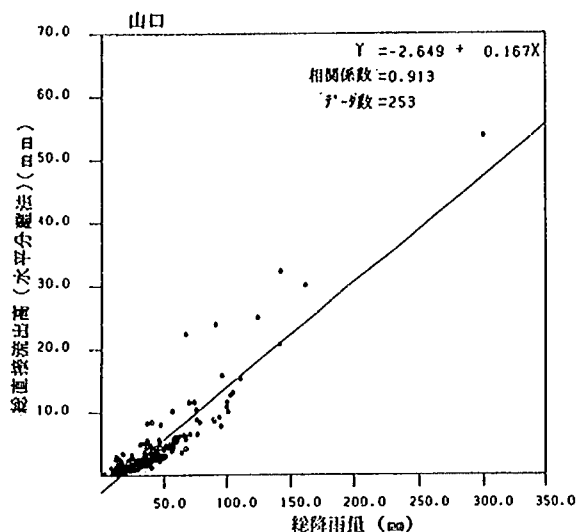


図 3.20 (2) 山口 総降雨量－総直接流出高(水平分離法)

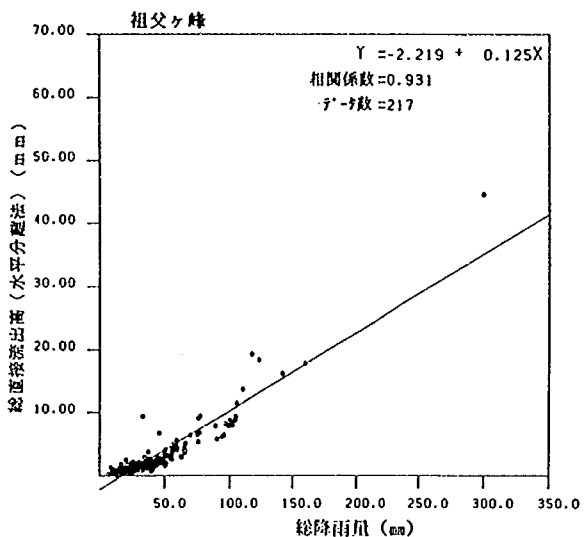


図 3.21 (2) 祖父ヶ峰 総降雨量－総直接流出高(水平分離法)

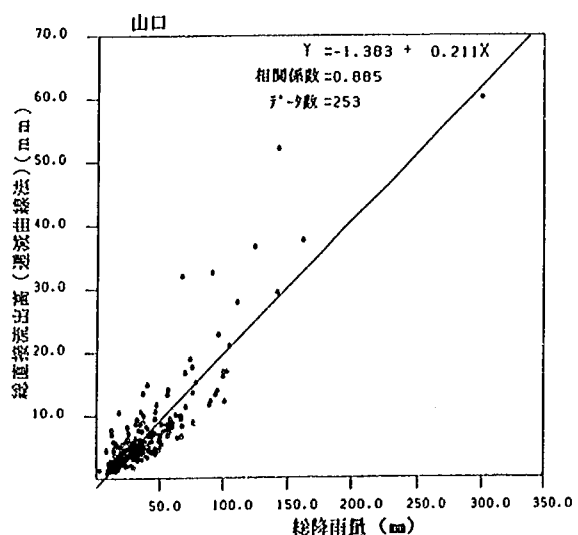


図 3.20 (3) 山口 総降雨量－総直接流出高(逓減曲線法)

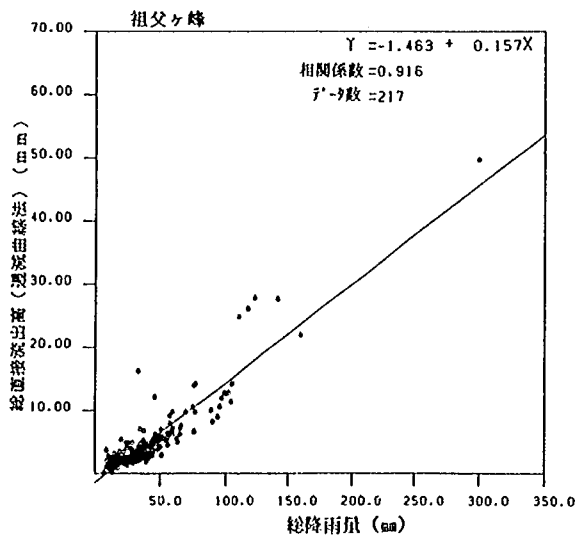


図 3.21 (3) 祖父ヶ峰 総降雨量－総直接流出高(逓減曲線法)

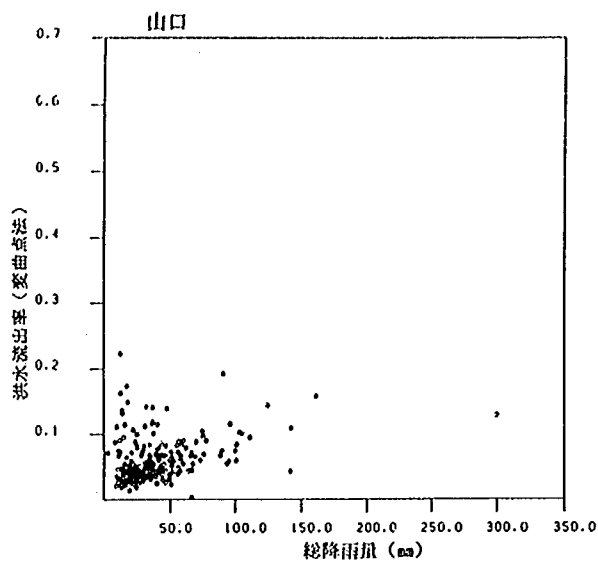


図 3.22 (1) 山口 総降雨量－洪水流出率(変曲点法)

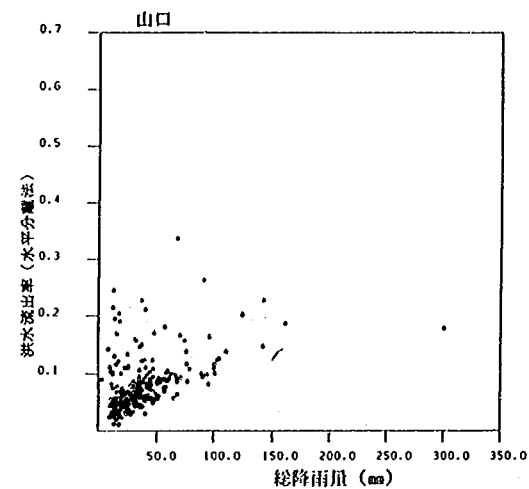


図 3.22 (2) 山口 総降雨量－洪水流出率(水平分離法)

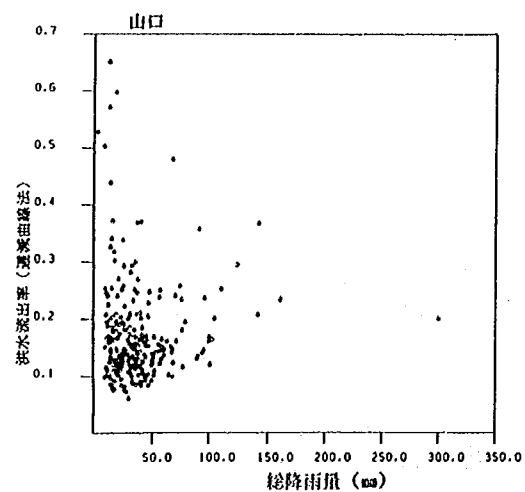


図 3.22 (3) 山口 総降雨量－洪水流出率(逓減曲線法)

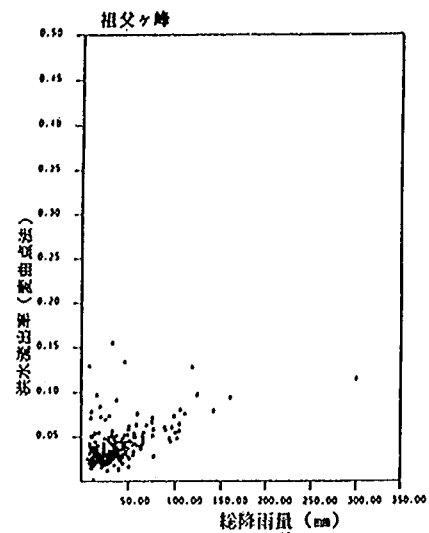


図 3.23 (1) 祖父ヶ峰 総降雨量－洪水流出率(変曲点法)

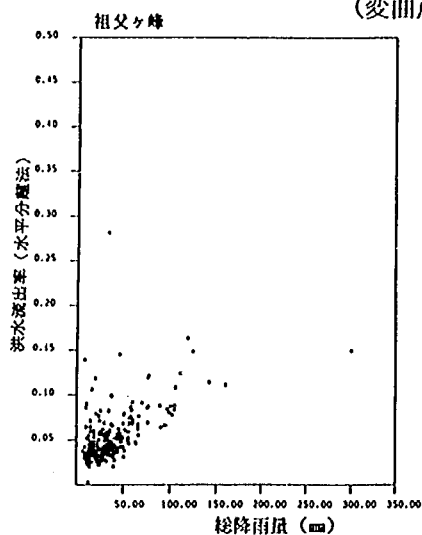


図 3.23 (2) 祖父ヶ峰 総降雨量－洪水流出率(水平分離法)

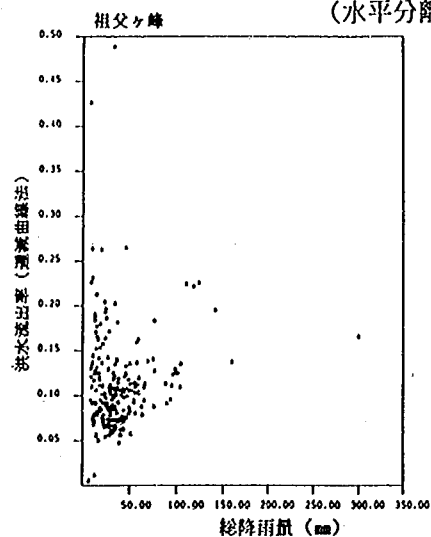


図 3.23 (3) 祖父ヶ峰 総降雨量－洪水流出率(逓減曲線法)

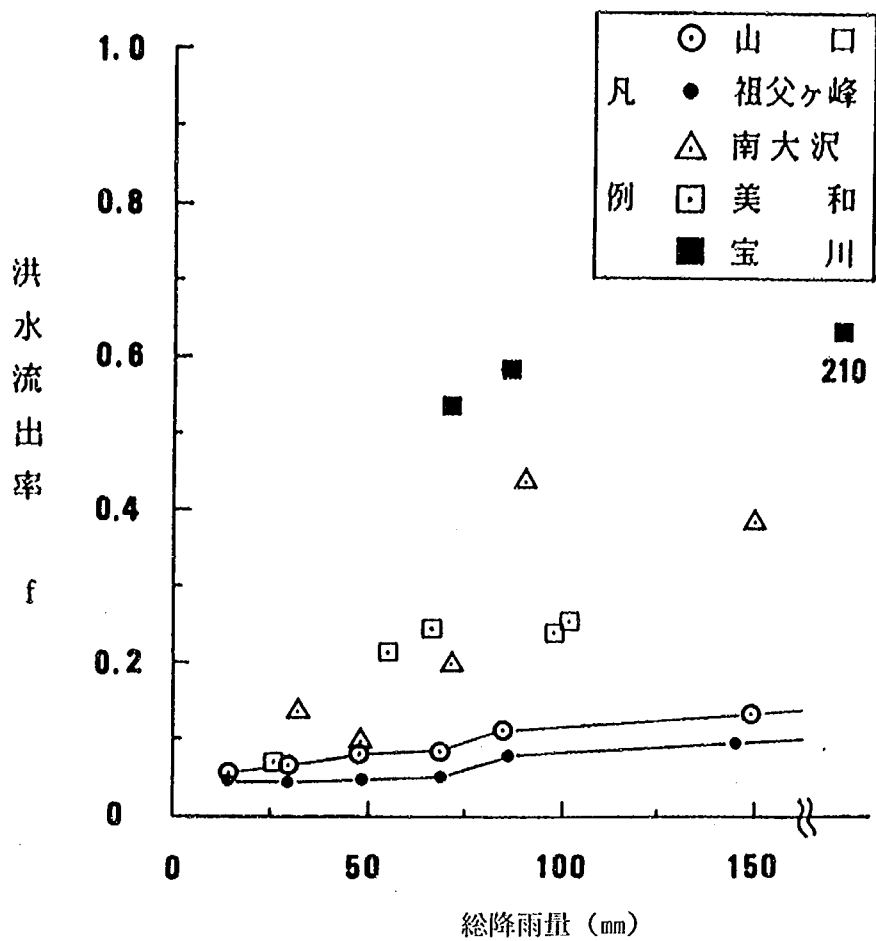


図 3.24 総降雨量－洪水流出率

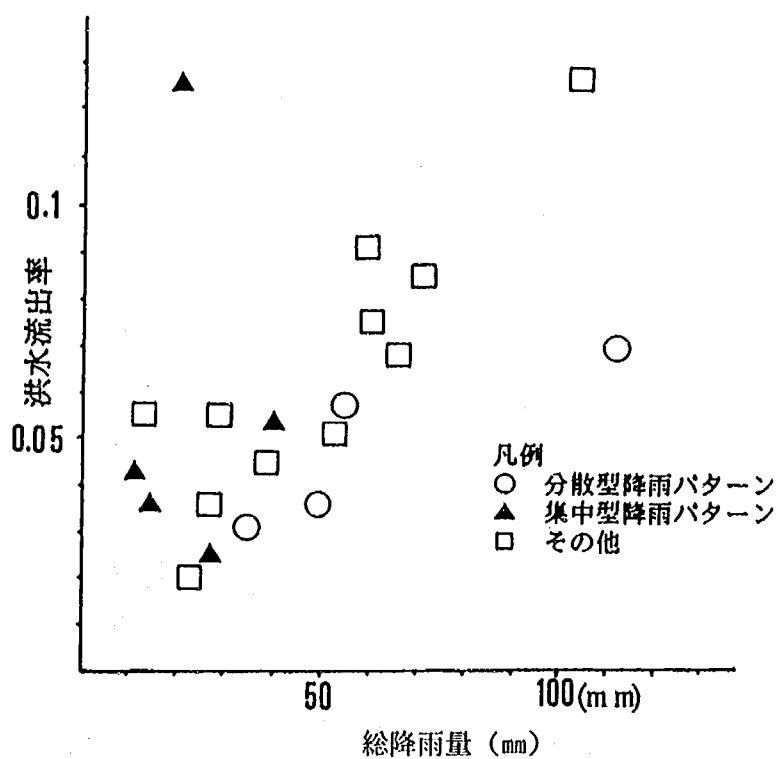


図 3.25 総降雨量－洪水流出率 (降雨波形パターン別)

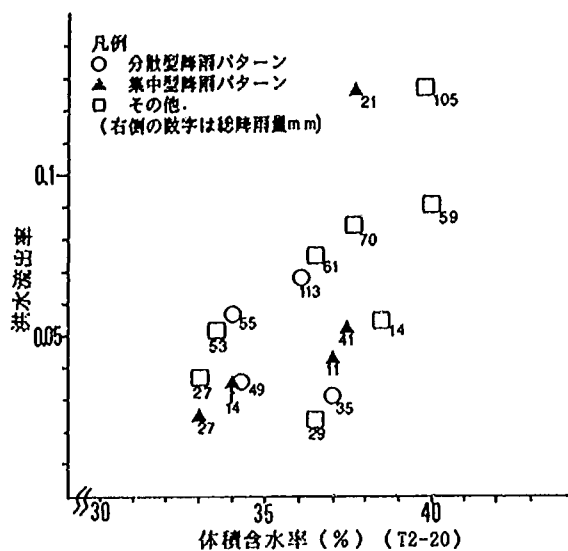


図 3.26 (1) 体積含水率 (T2-20) - 洪水流出率

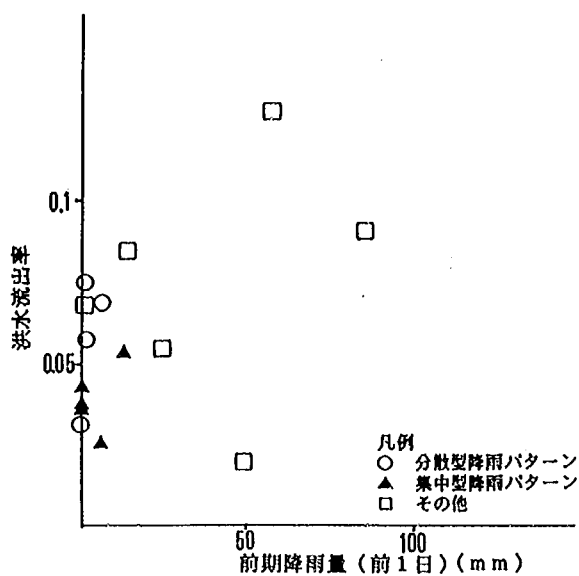


図 3.27 (1) 前期降雨量 (前 1 日) - 洪水流出率

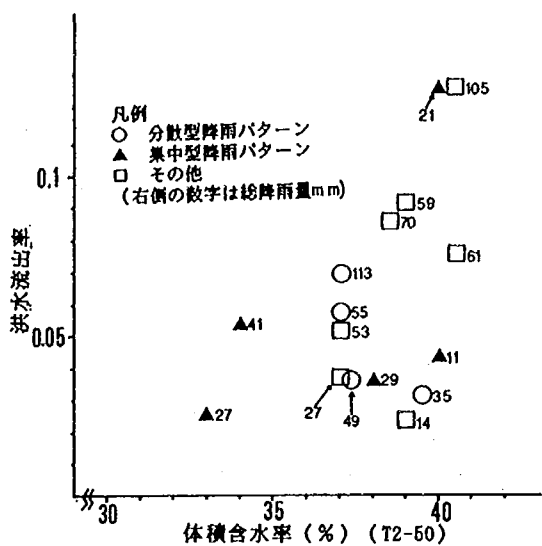


図 3.26 (2) 体積含水率 (T2-50) - 洪水流出率

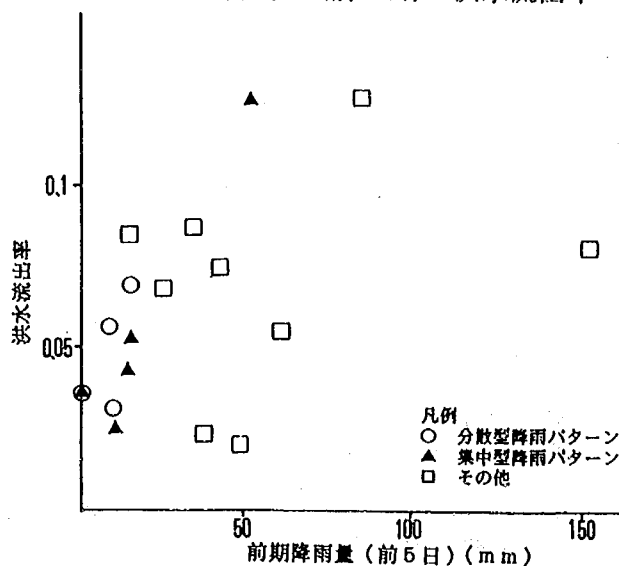


図 3.27 (2) 前期降雨量 (前 5 日) - 洪水流出率

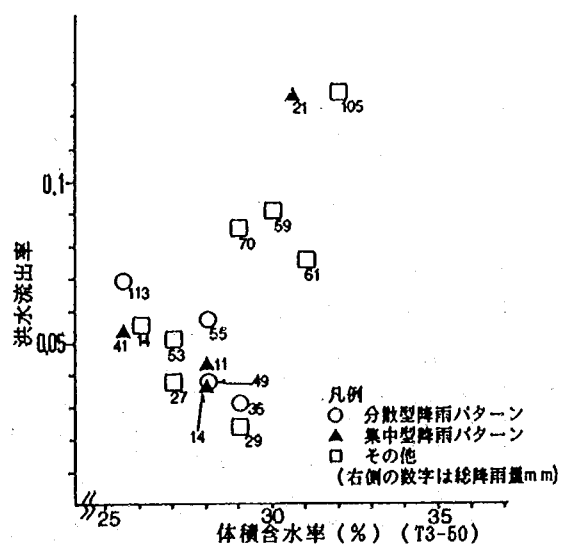


図 3.26 (3) 体積含水率 (T3-50) - 洪水流出率

表 3.12 (1) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	t [*] -Q流量 (m ³ /sec)	基底流量 (m ³ /sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S44-01	S44.06.14	17.0	0.331	0.081	200	1.308	0.049	50	0.500	0.127
S44-02	S44.06.21	34.0	0.351	0.103	60	0.750	0.090	50	0.800	0.084
S44-03	S44.06.25	24.5	0.470	0.129	80	1.563	0.058	50	1.400	0.065
S44-04	S44.07.08	25.5	0.489	0.182	100	1.300	0.072	50	1.200	0.078
S44-05	S44.07.28	12.0	0.192	0.092	120	1.500	0.025	50	1.600	0.023
S44-06	S44.07.31	22.0	0.363	0.083	140	1.643	0.043	50	1.800	0.039
S44-07	S44.08.04	20.0	0.363	0.140	160	0.909	0.072	50	0.600	0.116
S44-08	S44.08.23	51.0	0.899	0.072	160	2.406	0.072	50	0.200	0.864
S44-09	S44.09.02	32.0	0.410	0.070	80	1.063	0.074	50	0.800	0.099
S44-10	S44.09.07	14.0	0.359	0.076	40	2.500	0.028	50	2.000	0.035
S44-11	S44.09.24	16.5	0.227	0.081	140	0.964	0.045	50	0.300	0.146
S44-12	S44.10.01	29.5	0.267	0.086	160	0.688	0.075	50	0.300	0.171
S44-13	S44.10.08	49.0	0.489	0.079	60	1.750	0.054	50	1.700	0.055
S44-14	S44.10.25	67.5	0.628	0.123	80	1.095	0.110	50	0.700	0.172
S44-15	S44.10.27	10.2	0.307	0.144	300	0.463	0.128	50	0.148	0.398
S44-16	S44.11.15	29.5	0.243	0.073	120	0.688	0.068	50	0.400	0.117
S44-17	S44.12.07	18.0	0.285	0.075	360	0.667	0.082	50	0.400	0.137
S45-01	S45.01.30	38.1	0.447	0.066	120	1.486	0.058	50	1.100	0.078
S45-02	S45.05.07	20.0	0.237	0.088	160	0.625	0.073	50	0.500	0.091
S45-03	S45.05.16	57.2	0.479	0.070	60	1.447	0.064	50	1.436	0.064
S45-04	S45.05.20	32.8	0.384	0.075	20	1.879	0.039	50	1.854	0.040
S45-05	S45.06.01	30.0	0.363	0.069	200	1.412	0.049	50	0.948	0.074
S45-06	S45.06.14	37.5	0.289	0.099	180	0.986	0.058	50	0.851	0.065
S45-07	S45.06.19	40.0	0.503	0.099	80	1.000	0.097	50	0.700	0.138
S45-08	S45.07.01	8.0	0.285	0.132	160	0.639	0.086	50	0.300	0.183
S45-10	S45.09.16	17.0	0.218	0.062	120	1.394	0.030	50	0.051	0.814
S45-11	S45.09.23	19.2	0.331	0.063	100	1.426	0.045	50	0.703	0.090
S45-12	S45.10.17	28.5	0.157	0.056	160	0.594	0.051	50	0.400	0.075
S45-13	S45.11.19	141.4	1.047	0.126	100	1.726	0.117	50	1.451	0.139
S46-01	S46.04.22	12.3	0.184	0.077	80	0.655	0.054	50	0.548	0.065
S46-02	S46.04.29	96.2	1.942	0.150	60	3.780	0.099	50	3.882	0.096
S46-03	S46.05.06	30.3	0.278	0.101	80	0.423	0.126	50	0.400	0.133
S46-04	S46.06.08	29.1	0.363	0.043	180	2.081	0.034	50	0.445	0.157
S46-05	S46.06.16	34.7	0.790	0.045	140	2.496	0.061	50	1.497	0.101
S46-06	S46.06.30	161.0	3.389	0.126	-	-	-	50	5.600	0.116
S46-07	S46.09.06	73.5	1.333	0.170	20	3.750	0.068	50	2.800	0.092
S46-08	S46.09.28	75.6	1.444	0.115	80	2.994	0.093	50	3.182	0.087
S46-09	S46.10.04	25.4	0.230	0.131	80	0.342	0.130	50	0.404	0.110
S46-11	S46.10.30	34.3	0.359	0.138	200	0.363	0.190	50	0.338	0.205
S46-12	S46.12.27	34.6	0.367	0.078	300	0.670	0.105	50	-	-
S47-01	S47.01.11	99.9	0.670	0.084	140	0.595	0.216	50	0.338	0.381
S47-02	S47.01.15	24.9	0.296	0.117	80	0.658	0.067	50	0.634	0.090
S47-03	S47.02.13	33.1	0.553	0.198	40	1.095	0.097	50	0.976	0.109
S47-04	S47.02.28	46.5	1.021	0.274	140	1.201	0.163	50	0.138	1.421
S47-06	S47.04.12	23.5	0.195	0.098	280	0.453	0.083	50	0.218	0.172
S47-07	S47.04.15	13.3	0.339	0.155	80	0.423	0.154	50	0.029	2.245
S47-08	S47.04.23	23.2	0.347	0.117	120	0.570	0.117	50	0.458	0.146
S47-09	S47.04.30	14.4	0.351	0.115	20	0.250	0.270	50	0.300	0.225
S47-10	S47.05.04	40.0	0.470	0.112	60	0.700	0.129	50	0.700	0.129
S47-11	S47.05.21	28.7	0.553	0.119	160	1.016	0.105	50	0.857	0.124

表 3.12 (2) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S47-12	S47.06.09	34.4	1.355	0.887	140	2.642	0.099	50	0.162	1.608
S47-13	S47.07.14	43.8	0.698	0.088	140	2.937	0.046	50	1.532	0.088
S47-14	S47.07.31	8.9	0.144	0.077	180	0.744	0.037	50	-	-
S47-15	S47.08.07	17.0	0.285	0.137	80	1.119	0.049	50	1.094	0.050
S47-16	S47.08.21	15.0	0.230	0.118	140	0.662	0.067	50	0.100	0.043
S47-17	S47.09.01	10.8	0.187	0.086	200	0.539	0.067	50	0.200	0.180
S47-18	S47.09.12	18.5	0.720	0.070	80	2.314	0.060	50	2.436	0.057
S47-19	S47.09.15	20.3	0.548	0.257	120	0.794	0.133	50	0.351	0.300
S47-20	S47.09.20	13.9	0.359	0.107	120	1.271	0.054	50	0.200	0.345
S47-21	S47.12.23	68.9	0.343	0.042	60	1.455	0.045	50	1.397	0.047
S48-01	S48.01.24	10.2	0.292	0.081	80	0.364	0.155	50	0.194	0.290
S48-02	S48.04.12	50.3	0.709	0.041	140	3.377	0.040	50	1.054	0.129
S48-03	S48.04.15	35.3	0.203	0.062	140	0.482	0.081	50	0.348	0.112
S48-04	S48.04.27	18.8	0.234	0.056	120	0.960	0.047	50	0.403	0.111
S48-06	S48.05.28	46.3	0.237	0.056	20	0.750	0.061	50	0.600	0.076
S48-07	S48.06.06	24.0	0.311	0.141	180	0.736	0.081	50	0.548	0.109
S48-08	S48.06.08	18.5	0.351	0.086	120	1.848	0.036	50	0.645	0.104
S48-09	S48.07.02	18.7	0.161	0.061	180	0.932	0.033	50	0.548	0.056
S48-10	S48.08.04	101.0	4.553	0.039	120	9.971	0.068	50	5.797	0.151
S48-11	S48.08.06	43.4	1.767	0.081	100	4.342	0.078	50	1.663	0.204
S48-12	S48.08.24	11.7	0.300	0.049	160	0.795	0.072	50	0.277	-
S48-13	S48.09.05	21.0	0.257	0.051	80	0.936	0.053	50	0.548	0.090
S48-14	S48.09.09	11.2	0.182	0.058	180	0.749	0.047	50	0.091	0.0
S48-15	S48.09.13	32.0	0.292	0.055	100	1.050	0.054	50	0.448	0.125
S48-17	S48.10.21	39.0	0.335	0.062	80	1.000	0.064	50	0.800	0.080
S48-18	S48.10.28	31.5	0.415	0.067	80	1.530	0.052	50	1.248	0.062
S48-19	S48.11.10	62.2	1.422	0.138	40	3.371	0.081	50	3.745	0.073
S49-01	S49.04.21	9.3	0.424	0.092	120	0.579	0.141	50	0.463	0.176
S49-02	S49.05.31	25.5	0.303	0.072	120	1.226	0.048	50	0.997	0.059
S49-03	S49.06.13	47.2	1.900	0.058	100	4.717	0.071	50	5.448	0.067
S49-04	S49.06.18	40.9	0.461	0.078	60	1.381	0.064	50	1.406	0.063
S49-07	S49.10.22	25.1	0.221	0.091	40	0.565	0.075	50	0.590	0.072
S50-01	S50.03.20	34.8	0.331	0.061	80	1.530	0.042	50	1.400	0.045
S50-02	S50.04.21	50.5	0.632	0.059	140	1.093	0.111	50	0.921	0.132
S50-03	S50.05.19	0.2	0.150	0.119	40	0.375	0.077	50	0.351	0.082
S50-04	S50.07.21	36.4	0.437	0.086	80	3.098	0.027	50	3.034	0.028
S50-07	S50.07.21	36.4	0.437	0.086	80	3.098	0.027	50	3.034	0.028
S50-08	S50.09.23	11.8	0.331	0.167	160	0.740	0.066	50	0.724	0.088
S50-09	S50.09.29	43.0	0.335	0.097	40	1.095	0.059	50	0.914	0.070
S50-10	S50.10.05	39.0	0.584	0.068	60	1.083	0.104	50	1.000	0.112
S50-13	S50.11.19	35.0	0.380	0.132	160	0.438	0.167	50	0.400	0.183
S50-14	S50.06.05	15.0	0.257	0.061	100	1.500	0.033	50	0.700	0.071
S51-01	S51.04.06	11.5	0.351	0.074	180	0.639	0.106	50	0.200	0.337
S51-02	S51.04.14	31.1	0.410	0.075	120	1.658	0.048	50	0.713	0.111
S51-03	S51.05.08	35.3	0.447	0.079	100	2.860	0.030	50	1.791	0.048
S51-04	S51.06.04	55.8	0.653	0.237	100	1.627	0.077	50	0.500	0.251
S51-05	S51.06.15	34.3	0.437	0.144	160	1.656	0.051	50	0.648	0.130
S51-06	S51.07.10	41.1	0.637	0.136	160	1.721	0.071	50	1.305	0.094
S51-07	S51.07.18	15.3	1.521	0.177	40	3.819	0.077	50	3.819	0.077

表 3.12 (3) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S51-08	S51.08.02	11.6	0.637	0.145	40	2.182	0.056	50	1.988	0.062
S51-10	S51.09.21	24.9	0.260	0.115	140	0.588	0.085	50	0.503	0.099
S51-11	S51.10.09	31.8	0.949	0.148	120	0.753	0.243	50	0.342	0.533
S51-12	S51.10.20	12.2	0.428	0.129	120	0.729	0.113	50	0.779	0.106
S51-13	S51.10.24	30.0	0.376	0.133	140	0.465	0.155	50	0.154	0.468
S52-01	S52.03.30	67.0	0.292	0.073	100	0.800	0.070	50	0.700	0.080
S52-02	S52.04.29	18.8	0.215	0.084	100	1.044	0.040	50	0.685	0.060
S52-03	S52.05.15	102.9	1.197	0.077	140	2.668	0.086	50	2.313	0.100
S52-04	S52.06.14	25.0	0.465	0.058	140	1.919	0.047	50	1.972	0.045
S52-05	S52.06.17	17.6	0.215	0.115	160	0.338	0.122	50	0.129	0.320
S52-06	S52.06.24	35.8	0.410	0.172	200	0.862	0.092	50	0.500	0.158
S52-07	S52.07.06	63.9	0.784	0.086	80	4.392	0.034	50	5.512	0.027
S52-08	S52.07.11	20.8	0.278	0.094	100	1.554	0.034	50	0.248	0.215
S52-09	S52.07.15	13.0	0.237	0.080	200	0.794	0.057	50	0.100	0.455
S52-10	S52.08.06	21.5	0.642	0.062	-	-	-	50	1.358	0.091
S52-11	S52.08.13	70.3	1.007	0.145	20	2.129	0.091	50	1.607	0.121
S53-01	S53.08.16	10.2	0.234	0.039	120	1.273	0.035	50	0.268	0.0
S53-02	S53.09.04	41.1	0.574	0.081	100	1.212	0.091	50	1.091	0.101
S53-03	S53.09.11	15.9	0.215	0.057	100	0.898	0.046	50	0.397	0.104
S53-04	S53.10.20	13.8	0.209	0.081	200	0.614	0.066	50	0.400	0.100
S54-01	S54.05.08	54.9	0.893	0.102	120	1.582	0.109	50	1.197	0.143
S54-02	S54.05.14	91.0	2.469	0.157	20	3.500	0.138	50	2.700	0.176
S54-03	S54.05.29	2.5	0.230	0.138	100	1.300	0.034	50	0.450	0.0
S54-04	S54.08.24	39.5	0.584	0.045	140	1.714	0.066	50	0.600	0.187
S54-05	S54.09.23	13.5	0.206	0.042	140	1.038	0.038	50	0.700	0.057
S54-06	S54.09.26	13.5	0.798	0.059	180	0.750	0.204	50	0.117	0.0
S54-07	S54.10.06	36.5	0.732	0.087	140	1.071	0.131	50	0.500	0.281
S54-08	S54.10.11	34.5	0.456	0.105	160	1.156	0.076	50	0.400	0.219
S54-09	S54.10.18	8.5	1.816	0.187	500	0.920	0.380	50	0.067	0.0
S54-10	S54.11.10	46.5	0.372	0.130	120	0.500	0.143	50	0.500	0.143
S55-01	S55.03.07	32.5	0.292	0.058	220	0.568	0.099	50	0.500	0.112
S55-02	S55.03.29	28.0	0.616	0.146	0	2.500	0.047	50	2.200	0.054
S55-03	S55.07.15	14.5	0.198	0.101	120	0.782	0.049	50	0.324	0.117
S55-04	S55.07.28	12.7	0.209	0.109	180	1.099	0.037	50	0.100	0.402
S55-05	S55.08.19	22.9	0.419	0.089	100	2.290	0.035	50	1.986	0.041
S55-06	S55.09.08	30.6	0.632	0.078	140	2.163	0.056	50	1.200	0.101
S55-07	S55.09.09	66.6	3.496	0.123	100	4.981	0.135	50	3.969	0.169
S55-08	S55.10.14	35.3	0.260	0.061	160	1.237	0.040	50	0.862	0.058
S55-09	S55.10.19	30.7	0.574	0.088	80	1.518	0.073	50	1.378	0.080
S55-10	S55.11.21	34.6	0.380	0.069	120	0.839	0.087	50	0.709	0.103
S56-01	S56.03.14	33.5	0.402	0.057	60	1.655	0.047	50	1.524	0.051
S56-02	S56.05.07	45.9	0.605	0.074	140	0.685	0.170	50	0.111	1.050
S56-03	S56.05.17	29.4	0.714	0.113	120	2.065	0.066	50	1.515	0.091
S56-04	S56.07.19	18.5	0.406	0.062	80	2.299	0.034	50	2.215	0.035
S56-05	S56.07.22	42.0	0.589	0.074	120	3.444	0.033	50	2.385	0.048
S56-06	S56.08.22	36.0	0.862	0.107	100	0.604	0.274	50	0.494	0.336
S56-07	S56.08.28	36.5	1.128	0.068	60	5.000	0.043	50	5.500	0.039
S56-08	S56.09.25	26.8	0.234	0.066	120	0.699	0.064	50	0.411	0.109

表 3.12 (4) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	t'- α 流量 (m ³ /sec)	基底流量 (m ³ /sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S57-01	S57.01.04	22.8	0.260	0.090	60	1.226	0.041	50	1.399	0.036
S57-02	S57.04.14	60.0	1.261	0.151	40	2.566	0.094	50	2.850	0.085
S57-03	S57.04.30	14.7	0.147	0.062	140	0.856	0.033	50	0.696	0.040
S57-04	S57.05.03	23.2	0.253	0.055	160	1.329	0.037	50	0.947	0.051
S57-05	S57.05.07	20.4	0.148	0.055	120	0.881	0.032	50	0.671	0.042
S57-06	S57.05.31	30.6	0.172	0.050	160	0.647	0.051	50	0.339	0.097
S57-07	S57.06.03	12.4	0.327	0.115	120	0.997	0.063	50	0.555	0.113
S57-08	S57.06.26	26.3	0.227	0.085	140	0.652	0.067	50	0.478	0.091
S57-09	S57.07.07	24.1	0.174	0.067	40	0.625	0.054	50	0.600	0.056
S57-10	S57.07.17	15.8	0.303	0.084	160	0.899	0.065	50	0.332	0.176
S57-11	S57.07.31	30.1	0.749	0.157	40	1.807	0.080	50	1.824	0.079
S57-12	S57.08.21	78.2	0.720	0.140	100	1.805	0.077	50	1.632	0.085
S57-13	S57.08.19	9.3	0.209	0.072	160	0.590	0.068	50	0.029	1.386
S57-14	S57.09.10	21.6	0.271	0.065	140	1.241	0.042	50	1.100	0.047
S57-16	S57.09.25	37.1	0.632	0.129	60	1.321	0.092	50	1.321	0.092
S57-17	S57.10.02	22.3	0.224	0.110	60	0.552	0.078	50	0.581	0.074
S57-18	S57.10.19	57.9	0.642	0.117	40	1.545	0.080	50	1.628	0.076
S57-19	S57.11.05	24.8	0.296	0.101	40	1.296	0.044	50	1.284	0.044
S57-20	S57.11.30	21.6	0.367	0.103	40	1.743	0.041	50	1.823	0.039
S58-01	S58.03.10	21.6	0.133	0.060	120	0.397	0.065	50	0.200	0.128
S58-02	S58.03.13	44.2	0.311	0.064	140	0.630	0.095	50	0.343	0.174
S58-03	S58.04.01	52.6	0.484	0.068	20	1.694	0.055	50	1.674	0.056
S58-04	S58.04.10	42.8	0.237	0.062	120	0.512	0.089	50	0.500	0.091
S58-05	S58.04.18	24.1	0.170	0.078	140	0.145	0.225	50	0.075	0.433
S58-06	S58.04.22	15.6	0.182	0.096	140	0.437	0.080	50	0.362	0.097
S58-07	S58.05.06	18.1	0.167	0.070	220	0.277	0.116	50	0.062	0.519
S58-08	S58.05.15	46.5	0.384	0.079	100	0.805	0.092	50	0.535	0.138
S58-09	S58.06.12	56.0	0.371	0.062	60	1.200	0.060	50	1.243	0.057
S58-10	S58.06.20	65.6	0.736	0.066	60	2.008	0.071	50	2.010	0.070
S58-11	S58.06.24	30.7	0.484	0.092	80	2.714	0.034	50	3.018	0.031
S58-12	S58.07.27	19.0	0.303	0.074	80	0.820	0.071	50	0.868	0.067
S58-13	S58.08.15	75.1	0.929	0.096	40	1.908	0.094	50	2.101	0.085
S58-14	S58.09.01	41.3	1.058	0.076	60	8.449	0.032	50	7.192	0.028
S58-15	S58.09.07	56.3	2.690	0.073	20	10.519	0.049	50	8.547	0.061
S59-01	S59.02.23	16.3	0.142	0.045	180	0.824	0.033	50	0.542	0.051
S59-02	S59.02.26	40.0	0.138	0.048	80	0.563	0.047	50	0.300	0.089
S59-03	S59.04.04	27.9	0.209	0.069	160	0.596	0.067	50	0.438	0.092
S59-04	S59.05.01	28.5	0.289	0.050	100	1.400	0.040	50	0.900	0.062
S59-05	S59.05.31	16.9	0.806	0.043	260	0.620	0.250	50	-	-
S59-06	S59.06.13	40.8	0.339	0.046	180	1.132	0.057	50	0.662	0.098
S59-07	S59.06.22	49.3	0.331	0.057	200	0.878	0.072	50	0.762	0.083
S59-08	S59.06.26	40.8	0.224	0.075	100	0.550	0.078	50	0.262	0.164
S59-09	S59.06.29	45.1	0.376	0.096	40	0.970	0.074	50	0.976	0.074
S59-10	S59.07.05	14.7	0.437	0.071	60	2.393	0.035	50	2.872	0.029
S59-11	S59.07.13	13.7	0.179	0.077	100	0.669	0.052	50	-	-
S59-12	S59.08.02	22.6	0.460	0.052	80	2.831	0.031	50	4.282	0.021
S59-13	S59.08.06	10.5	0.393	0.056	80	1.314	0.057	50	1.916	0.039
S59-14	S59.08.20	10.4	0.135	0.043	140	0.701	0.037	50	0.224	0.116
S59-15	S59.10.12	43.9	0.289	0.038	140	0.839	0.066	50	0.824	0.067
S59-16	S59.11.15	19.0	0.124	0.033	240	0.542	0.044	50	0.300	0.079
S59-17	S59.12.11	35.6	0.161	0.032	160	0.387	0.080	50	0.434	0.071

表 3.12 (5) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	降雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S59-18	S59.12.16	18.7	0.120	0.035	240	0.181	0.127	50	0.124	0.186
S60-01	S60.02.08	76.2	0.578	0.032	60	1.425	0.078	50	1.448	0.077
S60-02	S60.02.19	57.6	0.233	0.033	120	0.411	0.109	50	0.424	0.106
S60-03	S60.02.28	33.8	0.159	0.041	220	0.483	0.063	50	0.538	0.057
S60-04	S60.03.14	15.2	0.132	0.058	280	0.179	0.142	50	0.124	0.205
S60-05	S60.03.17	37.5	0.428	0.055	120	1.057	0.078	50	0.838	0.098
S60-06	S60.04.04	34.2	0.479	0.051	140	1.735	0.053	50	1.498	0.062
S60-07	S60.04.22	59.7	0.691	0.057	160	1.857	0.072	50	1.552	0.086
S60-08	S60.06.13	38.8	0.177	0.056	260	0.389	0.087	50	0.338	0.101
S60-09	S60.06.18	100.4	0.818	0.052	20	1.085	0.145	50	1.116	0.141
S60-10	S60.06.30	124.0	1.455	0.172	100	1.454	0.192	50	1.144	0.245
S60-11	S60.07.21	90.2	2.122	0.086	140	6.310	0.065	50	4.254	0.096
S60-12	S60.08.10	32.2	0.836	0.081	80	4.025	0.040	50	4.736	0.034
S60-13	S60.08.11	33.8	0.498	0.102	100	1.641	0.058	50	0.824	0.116
S60-14	S60.08.19	24.1	0.237	0.075	260	0.600	0.076	50	0.586	0.078
S60-15	S60.08.30	94.0	0.891	0.066	40	1.867	0.092	50	1.928	0.089
S60-16	S60.09.28	49.1	0.107	0.022	180	0.569	0.036	50	0.338	0.061
S60-17	S60.10.05	46.4	0.094	0.025	120	0.339	0.053	50	0.114	0.158
S60-18	S60.10.11	19.4	0.184	0.082	160	0.252	0.141	50	0.062	0.572
S60-19	S60.10.14	43.8	0.470	0.088	160	1.028	0.088	50	0.862	0.105
S60-20	S60.11.05	44.2	0.237	0.065	160	0.856	0.053	50	0.362	0.126
S61-01	S61.03.19	49.9	0.812	0.051	60	2.492	0.063	50	2.390	0.065
S61-02	S61.04.22	29.8	0.200	0.060	200	0.462	0.083	50	0.200	0.193
S61-03	S61.04.28	19.6	0.159	0.060	80	0.539	0.057	50	0.600	0.051
S61-04	S61.05.14	89.0	0.941	0.050	80	2.672	0.068	50	2.786	0.065
S61-05	S61.05.29	49.5	0.227	0.061	200	0.572	0.076	50	0.338	0.129
S61-06	S61.06.16	50.6	0.233	0.052	100	0.669	0.067	50	0.400	0.112
S61-07	S61.06.19	12.3	0.233	0.067	160	0.767	0.059	50	0.100	0.449
S61-08	S61.06.25	37.2	0.437	0.063	100	1.760	0.048	50	1.610	0.052
S61-09	S61.07.21	28.5	0.209	0.081	20	0.250	0.161	50	0.200	0.201
S61-10	S61.08.03	300.0	4.246	0.070	20	4.760	0.172	50	4.900	0.167
S61-11	S61.09.01	95.5	0.518	0.093	80	1.125	0.089	50	1.200	0.083
S61-12	S61.09.13	18.4	0.237	0.097	240	0.508	0.090	50	0.386	0.118
S61-13	S61.12.14	38.0	0.289	0.052	40	0.857	0.065	50	0.824	0.067
S61-14	S61.12.19	35.7	0.538	0.067	40	2.482	0.042	50	2.386	0.043
S62-01	S62.03.24	31.9	0.311	0.058	180	0.910	0.088	50	0.938	0.064
S62-02	S62.05.23	43.7	0.311	0.040	240	1.097	0.055	50	1.248	0.048
S62-03	S62.05.24	14.8	-	-	-	-	-	-	-	-
S62-04	S62.07.03	41.2	0.355	0.043	120	0.865	0.079	50	0.638	0.107
S62-05	S62.07.15	42.6	0.777	0.045	100	2.790	0.054	50	1.348	0.111
S62-06	S62.07.25	14.9	0.187	0.051	180	0.809	0.044	50	-	-
S62-07	S62.07.28	12.1	0.135	0.047	200	0.607	0.043	50	-	-
S62-08	S62.08.15	16.3	0.319	0.039	60	2.627	0.023	50	3.052	0.020
S62-09	S62.09.25	23.4	0.355	0.046	120	1.397	0.049	50	1.166	0.059
S62-10	S62.10.06	31.9	0.215	0.047	160	0.931	0.044	50	0.438	0.094
S62-11	S62.10.24	51.3	0.221	0.046	120	0.792	0.054	50	0.824	0.052
S62-12	S62.11.04	32.5	0.174	0.051	160	0.637	0.053	50	0.162	0.207
S63-01	S63.03.22	58.8	0.460	0.037	180	0.851	0.104	50	0.710	0.125
S63-02	S63.05.12	66.5	0.484	0.059	40	1.470	0.063	50	1.514	0.061

表 3.12 (6) 山口観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	t [*] ~流量 (m ³ /sec)	基底流量 (m ³ /sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S63-03	S63.05.22	55.6	0.300	0.062	100	0.638	0.090	50	0.438	0.132
S63-04	S63.06.02	51.2	0.278	0.058	160	0.909	0.059	50	0.700	0.076
S63-05	S63.07.14	104.8	0.383	0.078	120	0.944	0.074	50	0.838	0.083
S63-06	S63.07.28	69.5	1.159	0.095	20	3.000	0.074	50	2.700	0.083
S63-07	S63.08.02	25.5	0.264	0.157	80	0.938	0.054	50	1.300	0.039
S63-08	S63.08.11	142.0	2.690	0.267	60	5.333	0.097	50	6.200	0.083
S63-09	S63.08.29	13.5	0.433	0.161	80	1.750	0.048	50	2.400	0.035
S63-10	S63.09.01	19.0	0.289	0.135	60	2.167	0.026	50	2.600	0.021
S63-11	S63.09.25	110.6	1.892	0.224	40	3.535	0.103	50	3.780	0.096

表 3.13 (1) 祖父ヶ峰観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S44-14	S44.10.26	66.0	0.023	0.005	0	2.000	0.045	20	1.879	0.047
S44-15	S44.10.27	9.2	0.011	0.006	60	1.162	0.034	20	1.114	0.036
S44-16	S44.11.15	26.8	0.011	0.004	40	1.064	0.038	20	1.000	0.041
S45-02	S45.05.07	15.0	0.008	0.003	280	0.518	0.062	20	0.500	0.064
S45-03	S45.05.16	55.1	0.019	0.003	100	1.417	0.050	20	0.992	0.072
S45-04	S45.05.20	32.3	0.016	0.003	60	1.569	0.040	20	0.970	0.065
S45-05	S45.06.01	30.0	0.014	0.003	40	1.307	0.041	20	1.242	0.043
S45-06	S45.06.14	37.5	0.011	0.003	40	1.250	0.034	20	1.250	0.034
S45-07	S45.06.19	37.5	0.017	0.004	20	1.000	0.066	20	1.000	0.066
S45-08	S45.07.01	13.5	0.011	0.005	120	0.749	0.054	20	0.492	0.083
S45-09	S45.08.29	13.6	0.008	0.003	40	1.178	0.027	20	1.099	0.029
S45-11	S45.09.23	19.2	0.011	0.002	0	2.955	0.014	20	2.106	0.020
S45-12	S45.10.17	25.5	0.005	0.001	40	0.500	0.038	20	0.250	0.076
S46-01	S46.04.22	11.8	0.005	0.002	40	0.814	0.023	20	0.750	0.025
S46-02	S46.04.29	105.7	0.084	0.002	60	3.780	0.085	20	1.614	0.199
S46-04	S46.08.08	29.1	0.018	0.001	60	4.485	0.015	20	6.106	0.011
S46-05	S46.08.16	34.7	0.023	0.001	60	5.576	0.015	20	4.500	0.019
S46-06	S46.08.30	160.0	0.120	0.003	40	6.500	0.070	20	6.750	0.068
S46-07	S46.09.06	77.5	0.040	0.004	100	2.350	0.064	20	1.750	0.086
S46-08	S46.09.26	77.1	0.052	0.003	100	2.988	0.066	20	2.882	0.069
S46-09	S46.10.04	27.9	0.008	0.004	80	0.342	0.084	20	0.309	0.093
S46-10	S46.10.10	15.8	0.008	0.004	20	0.559	0.058	20	0.559	0.058
S46-11	S46.10.30	34.8	0.014	0.005	80	0.621	0.083	20	0.177	0.290
S46-12	S46.12.27	33.1	0.014	0.005	80	1.387	0.039	20	1.119	0.048
S47-01	S47.01.11	102.3	0.022	0.004	20	1.620	0.051	20	1.620	0.051
S47-02	S47.01.15	24.7	0.012	0.006	20	0.986	0.047	20	0.986	0.047
S47-04	S47.02.26	46.5	0.027	0.006	60	1.520	0.067	20	0.559	0.182
S47-06	S47.04.12	24.9	0.008	0.004	140	0.552	0.058	20	0.427	0.075
S47-07	S47.04.15	22.2	0.008	0.004	20	0.750	0.042	20	0.750	0.042
S47-08	S47.04.23	22.5	0.008	0.004	20	0.631	0.051	20	0.631	0.051
S47-09	S47.04.30	14.6	0.008	0.003	40	1.368	0.021	20	1.316	0.022
S47-10	S47.05.04	10.5	0.020	0.005	20	4.069	0.018	20	4.069	0.018
S47-11	S47.05.21	28.7	0.012	0.004	120	1.241	0.038	20	1.184	0.040
S47-12	S47.06.09	34.4	0.028	0.003	40	8.230	0.013	20	8.240	0.013
S47-13	S47.07.14	43.8	0.019	0.002	80	4.398	0.017	20	0.915	0.080
S47-14	S47.07.31	8.9	0.008	0.002	20	4.420	0.008	20	4.420	0.008
S47-15	S47.08.07	17.5	0.010	0.004	0	1.757	0.022	20	1.621	0.024
S47-17	S47.09.01	10.8	0.008	0.003	20	0.879	0.037	20	0.879	0.037
S47-18	S47.09.12	18.8	0.014	0.002	60	3.045	0.017	20	0.121	0.424
S47-19	S47.09.15	19.3	0.018	0.007	20	3.257	0.021	20	3.257	0.021
S47-20	S47.09.20	14.0	0.012	0.004	0	6.485	0.007	20	5.030	0.009
S47-21	S47.12.23	54.7	0.017	0.003	20	1.492	0.044	20	1.492	0.044
S48-02	S48.04.12	50.3	0.039	0.001	80	5.689	0.026	20	1.757	0.085
S48-03	S48.04.15	34.5	0.008	0.003	60	0.460	0.067	20	0.379	0.082
S48-04	S48.04.27	14.3	0.007	0.003	60	1.000	0.027	20	0.379	0.073
S48-06	S48.05.28	46.8	0.009	0.002	40	0.875	0.041	20	0.750	0.048
S48-07	S48.06.06	13.5	0.012	0.006	120	0.875	0.051	20	0.500	0.089
S48-08	S48.06.08	18.5	0.015	0.003	80	2.248	0.025	20	0.250	0.229
S48-09	S48.07.02	11.2	0.008	0.002	20	3.371	0.009	20	3.371	0.009

表 3.13 (2) 祖父ヶ峰観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ヒノク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S48-12	S48.08.24	12.2	0.007	0.001	20	4.364	0.006	20	4.364	0.006
S48-13	S48.09.05	16.0	0.009	0.003	20	1.121	0.030	20	1.121	0.030
S48-14	S48.09.09	11.2	0.008	0.002	60	1.871	0.016	20	1.500	0.019
S48-15	S48.09.13	30.3	0.010	0.002	40	1.375	0.028	20	0.621	0.061
S48-17	S48.10.21	39.0	0.011	0.002	40	1.125	0.038	20	0.750	0.057
S48-18	S48.10.28	32.3	0.014	0.003	20	1.750	0.031	20	1.750	0.031
S48-19	S48.11.10	65.5	0.046	0.004	0	6.742	0.026	20	4.742	0.037
S49-02	S49.05.31	28.0	0.010	0.002	100	1.297	0.030	20	1.121	0.034
S49-06	S49.08.31	99.1	0.084	0.010	60	3.790	0.084	20	4.500	0.071
S50-01	S50.03.20	31.5	0.016	0.003	20	1.750	0.034	20	1.750	0.034
S50-02	S50.04.21	44.2	0.024	0.002	60	1.036	0.087	20	0.950	0.095
S50-03	S50.05.19	9.5	0.008	0.004	0	0.772	0.039	20	0.636	0.048
S50-04	S50.06.07	28.0	0.014	0.003	40	2.500	0.022	20	2.000	0.027
S50-05	S50.06.29	15.0	0.014	0.002	40	3.750	0.014	20	0.250	0.215
S50-06	S50.07.03	97.0	0.051	0.004	40	2.375	0.081	20	0.750	0.256
S50-07	S50.07.21	36.4	0.026	0.003	40	3.669	0.027	20	1.035	0.096
S50-08	S50.09.23	7.1	0.007	0.005	60	0.718	0.036	20	0.500	0.052
S50-09	S50.09.29	39.7	0.007	0.001	60	1.103	0.024	20	1.000	0.026
S50-10	S50.10.05	35.5	0.015	0.004	20	2.500	0.023	20	2.500	0.023
S50-14	S50.06.05	15.0	0.012	0.002	40	3.375	0.014	20	1.250	0.037
S51-01	S51.04.06	11.0	0.014	0.003	100	0.800	0.068	20	-	-
S51-02	S51.04.14	30.0	0.012	0.002	100	1.886	0.025	20	0.927	0.050
S51-03	S51.05.08	34.5	0.014	0.002	20	4.516	0.012	20	4.516	0.012
S51-04	S51.06.04	33.2	0.028	0.005	20	4.000	0.025	20	4.000	0.025
S51-05	S51.06.15	35.3	0.016	0.004	40	2.757	0.023	20	2.250	0.028
S51-06	S51.07.10	41.6	0.019	0.006	80	2.805	0.026	20	2.161	0.033
S51-07	S51.07.18	15.3	0.035	0.007	80	2.182	0.061	20	-	-
S51-08	S51.08.02	11.6	0.030	0.007	0	5.577	0.021	20	4.365	0.026
S51-09	S51.09.21	26.1	0.009	0.004	40	0.739	0.044	20	0.614	0.053
S51-11	S51.10.09	37.6	0.032	0.005	40	1.701	0.072	20	1.697	0.072
S51-12	S51.10.20	8.8	0.014	0.005	100	0.800	0.066	20	0.727	0.073
S51-13	S51.10.24	17.5	0.010	0.006	80	0.536	0.072	20	0.257	0.150
S52-01	S52.03.30	63.0	0.008	0.002	60	0.917	0.033	20	0.750	0.040
S52-02	S52.04.29	15.2	0.008	0.002	100	1.044	0.030	20	0.364	0.085
S52-03	S52.05.15	104.4	0.043	0.002	180	2.509	0.065	20	1.829	0.089
S52-04	S52.06.14	25.0	0.011	0.002	40	3.460	0.012	20	1.772	0.024
S52-05	S52.06.17	22.4	0.005	0.002	60	0.599	0.031	20	0.322	0.057
S52-06	S52.06.24	38.3	0.012	0.005	40	1.125	0.039	20	1.250	0.036
S52-07	S52.07.06	63.7	0.035	0.003	60	4.813	0.028	20	3.250	0.041
S52-08	S52.07.11	20.8	0.012	0.003	0	5.515	0.008	20	4.636	0.010
S52-10	S52.08.06	21.5	0.022	0.002	0	2.667	0.031	20	1.819	0.045
S52-11	S52.08.13	59.6	0.032	0.005	20	2.664	0.046	20	2.664	0.046
S52-12	S52.08.15	25.3	0.042	0.009	20	6.615	0.024	20	6.615	0.024
S54-01	S54.05.08	50.9	0.028	0.003	60	2.376	0.045	20	1.750	0.061
S54-04	S54.08.24	39.5	0.030	0.002	80	3.000	0.038	20	1.500	0.077
S54-06	S54.09.26	13.5	0.002	0.001	20	1.500	0.005	20	1.500	0.005
S54-09	S54.10.18	46.0	0.062	0.007	0	5.000	0.062	20	4.000	0.078

表 3.13 (3) 祖父ヶ峰観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	t [*] -流量 (m ³ /sec)	基底流量 (m ³ /sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S54-10	S54.11.10	47.5	0.011	0.004	80	0.688	0.063	20	0.500	0.087
S55-01	S55.03.07	13.0	0.011	0.004	120	0.667	0.062	20	0.500	0.083
S55-02	S55.03.29	29.5	0.020	0.005	40	1.875	0.040	20	2.000	0.038
S55-05	S55.08.19	22.6	0.012	0.003	60	3.579	0.013	20	4.250	0.011
S55-06	S55.09.08	30.6	0.017	0.002	40	5.530	0.011	20	4.250	0.015
S55-07	S55.09.09	58.0	0.092	0.003	20	9.902	0.035	20	9.902	0.035
S55-08	S55.10.14	35.3	0.011	0.002	100	1.409	0.029	20	0.809	0.050
S55-10	S55.11.21	33.5	0.014	0.002	60	1.004	0.054	20	0.809	0.067
S56-02	S56.05.07	33.4	0.019	0.005	40	1.868	0.039	20	1.396	0.052
S56-03	S56.05.17	29.4	0.025	0.003	80	2.752	0.034	20	1.791	0.052
S56-06	S56.08.22	30.2	0.023	0.004	40	3.045	0.029	20	2.171	0.041
S56-07	S56.08.28	36.0	0.037	0.002	40	6.625	0.021	20	2.750	0.051
S56-08	S56.09.25	27.5	0.008	0.003	20	0.843	0.034	20	0.843	0.034
S57-01	S57.01.04	22.8	0.008	0.003	20	1.816	0.016	20	1.816	0.016
S57-02	S57.04.14	60.0	0.062	0.007	20	2.802	0.083	20	2.802	0.083
S57-03	S57.04.30	14.7	0.005	0.002	80	1.217	0.017	20	1.178	0.018
S57-04	S57.05.03	23.5	0.009	0.002	80	1.911	0.017	20	0.760	0.043
S57-05	S57.05.07	22.2	0.006	0.002	60	1.012	0.021	20	0.678	0.031
S57-06	S57.05.31	30.6	0.007	0.002	60	0.888	0.029	20	1.093	0.024
S57-07	S57.06.03	13.5	0.011	0.004	100	1.161	0.036	20	0.277	0.150
S57-08	S57.06.26	26.8	0.008	0.003	60	0.714	0.040	20	0.500	0.057
S57-09	S57.07.07	24.1	0.005	0.002	40	0.638	0.030	20	0.750	0.026
S57-10	S57.07.17	15.4	0.009	0.002	80	1.346	0.025	20	0.554	0.061
S57-11	S57.07.31	32.9	0.024	0.003	60	2.559	0.036	20	1.723	0.054
S57-12	S57.08.02	75.4	0.030	0.004	80	2.069	0.054	20	1.527	0.073
S57-13	S57.08.19	9.3	0.011	0.002	40	2.324	0.017	20	1.604	0.025
S57-14	S57.09.10	21.5	0.009	0.002	60	1.333	0.027	20	1.250	0.028
S57-15	S57.09.11	118.3	0.290	0.007	0	9.976	0.111	20	9.095	0.121
S57-16	S57.09.25	37.1	0.025	0.004	40	1.901	0.049	20	1.659	0.057
S57-17	S57.10.02	22.1	0.009	0.004	40	0.625	0.052	20	0.546	0.060
S57-18	S57.10.19	57.9	0.029	0.005	100	1.882	0.058	20	1.874	0.058
S57-19	S57.11.05	24.8	0.012	0.005	80	1.317	0.035	20	1.250	0.037
S58-01	S58.03.10	21.6	0.005	0.002	100	0.562	0.036	20	0.561	0.036
S58-02	S58.03.13	44.2	0.010	0.002	100	0.832	0.047	20	0.250	0.157
S58-03	S58.04.01	52.6	0.019	0.003	20	1.694	0.043	20	1.694	0.043
S58-04	S58.04.10	42.8	0.007	-	-	-	-	20	-	-
S58-05	S58.04.16	24.1	0.006	0.003	20	0.260	0.082	20	0.260	0.082
S58-06	S58.04.22	15.6	0.007	0.004	80	0.515	0.049	20	0.405	0.063
S58-07	S58.05.06	18.1	0.007	0.003	60	0.913	0.028	20	0.310	0.083
S58-08	S58.05.15	47.5	0.012	0.003	40	1.530	0.031	20	0.980	0.048
S58-09	S58.06.12	58.0	0.014	0.002	20	2.172	0.025	20	2.172	0.025
S58-10	S58.06.20	65.6	0.028	0.002	80	1.881	0.056	20	1.310	0.081
S58-11	S58.06.24	30.7	0.020	0.003	80	2.714	0.028	20	2.190	0.034
S58-12	S58.07.27	18.9	0.009	0.002	220	0.377	0.087	20	0.260	0.126
S58-13	S58.08.15	76.2	0.035	0.003	40	1.908	0.070	20	0.682	0.194
S58-14	S58.09.01	41.3	0.028	0.003	60	6.449	0.015	20	4.685	0.021
S58-15	S58.09.07	58.3	0.110	0.003	20	10.519	0.040	20	10.519	0.040
S59-01	S59.02.23	16.3	0.006	0.001	120	1.133	0.020	20	0.742	0.031

表 3.13 (4) 祖父ヶ峰観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	t [*] →流量 (m ³ /sec)	基底流量 (m ³ /sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S59-02	S59.02.26	40.0	0.004	0.001	60	0.500	0.034	20	-	-
S59-03	S59.04.04	27.9	0.006	0.002	60	0.698	0.030	20	0.750	0.028
S59-04	S59.05.01	28.5	0.011	0.002	80	1.625	0.026	20	0.600	0.084
S59-05	S59.05.31	16.9	0.024	0.001	80	1.937	0.047	20	1.085	0.083
S59-06	S59.06.13	40.8	0.010	0.001	80	1.509	0.026	20	1.405	0.028
S59-07	S59.06.22	49.3	0.011	0.001	120	0.932	0.044	20	0.905	0.045
S59-08	S59.06.26	40.8	0.007	0.002	40	0.840	0.033	20	0.405	0.069
S59-09	S59.06.29	45.1	0.014	0.003	100	1.514	0.036	20	1.535	0.035
S59-10	S59.07.05	14.7	0.016	0.002	60	2.393	0.026	20	0.690	0.089
S59-11	S59.07.13	13.7	0.007	0.002	20	1.465	0.019	20	1.465	0.019
S59-12	S59.08.02	22.6	0.022	0.002	40	5.662	0.015	20	5.415	0.016
S59-13	S59.08.08	10.5	0.021	0.002	40	2.627	0.030	20	2.155	0.037
S59-14	S59.08.20	10.4	0.005	0.001	60	1.603	0.012	20	0.750	0.025
S59-15	S59.10.12	43.9	0.010	0.001	100	0.962	0.038	20	1.060	0.035
S59-16	S59.11.15	19.0	0.006	0.001	60	0.833	0.028	20	0.250	0.085
S59-17	S59.12.11	35.6	0.006	0.001	0	0.620	0.037	20	0.465	0.050
S59-18	S59.12.16	18.7	0.004	0.001	200	0.217	0.074	20	0.155	0.103
S60-01	S60.02.08	76.2	0.024	0.001	40	1.732	0.053	20	1.155	0.080
S60-02	S60.02.19	57.6	0.011	0.002	100	0.431	0.098	20	0.405	0.104
S60-03	S60.02.28	33.8	0.006	0.002	240	0.455	0.050	20	0.345	0.066
S60-04	S60.03.14	15.2	0.007	0.003	260	0.300	0.083	20	0.155	0.160
S60-05	S60.03.17	37.5	0.012	0.003	60	1.115	0.042	20	0.845	0.055
S60-06	S60.04.04	34.5	0.020	0.002	100	2.088	0.036	20	1.930	0.039
S60-07	S60.04.22	59.7	0.026	0.002	120	2.101	0.046	20	1.250	0.078
S60-08	S60.06.13	38.8	0.005	0.002	220	0.423	0.048	20	0.345	0.059
S60-09	S60.06.18	100.4	0.032	0.002	40	0.930	0.132	20	0.620	0.198
S60-10	S60.06.30	124.0	0.053	0.007	60	1.625	0.125	20	1.180	0.172
S60-11	S60.07.21	90.2	0.098	0.003	60	10.203	0.037	20	9.950	0.038
S60-12	S60.08.10	32.2	0.032	0.003	40	8.050	0.015	20	5.780	0.021
S60-13	S60.08.11	33.8	0.023	0.004	80	2.051	0.043	20	1.000	0.089
S60-14	S60.08.19	24.1	0.010	0.003	60	0.520	0.076	20	0.345	0.114
S60-15	S60.08.30	94.0	0.039	0.002	60	2.517	0.059	20	2.000	0.074
S60-16	S60.09.28	49.1	0.010	0.002	160	0.577	0.063	20	0.250	0.147
S60-17	S60.10.05	46.4	0.008	0.003	60	0.397	0.078	20	0.190	0.163
S60-18	S60.10.11	19.4	0.006	0.003	60	0.465	0.051	20	0.310	0.077
S60-19	S60.10.14	43.8	0.016	0.003	40	1.125	0.055	20	0.750	0.082
S60-20	S60.11.05	44.2	0.008	0.002	80	1.157	0.027	20	0.845	0.037
S61-01	S61.03.19	49.9	0.037	0.002	20	3.345	0.042	20	3.345	0.042
S61-02	S61.04.22	29.8	0.007	0.002	100	0.693	0.037	20	0.500	0.051
S61-03	S61.04.28	19.6	0.006	0.002	20	0.750	0.029	20	0.750	0.029
S61-04	S61.05.14	89.0	0.043	0.002	100	2.607	0.063	20	2.500	0.065
S61-05	S61.05.29	49.5	0.008	0.002	80	0.976	0.032	20	0.905	0.035
S61-06	S61.06.16	50.6	0.007	0.002	40	1.250	0.022	20	1.095	0.026
S61-07	S61.06.19	12.3	0.006	0.002	80	1.511	0.015	20	0.595	0.037
S61-08	S61.06.25	37.2	0.016	0.002	100	1.760	0.038	20	1.750	0.036
S61-09	S61.07.21	28.5	0.006	0.003	20	0.750	0.032	20	0.750	0.032
S61-10	S61.08.03	300.0	0.175	0.003	40	4.875	0.137	20	4.250	0.157
S61-11	S61.09.01	95.5	0.019	0.003	0	4.000	0.018	20	2.500	0.029
S61-12	S61.09.13	18.4	0.008	0.003	20	0.810	0.036	20	0.810	0.036
S61-13	S61.12.14	38.0	0.011	0.002	180	0.818	0.053	20	0.405	0.108
S61-14	S61.12.19	35.7	0.026	0.002	40	2.482	0.040	20	2.035	0.049

表 3.13 (5) 祖父ヶ峰観測所流出係数一覧表

洪水NO	生起年月日	総雨量 (mm)	ピーク流量 (m³/sec)	基底流量 (m³/sec)	2 t g 法			土 研 式		
					t p (分)	平均降雨強	流出係数	t p (分)	平均降雨強	流出係数
S62-01	S62.03.24	31.9	0.010	0.002	0	2.000	0.019	20	1.500	0.026
S62-02	S62.05.23	43.7	0.013	0.001	20	1.310	0.037	20	1.310	0.037
S62-03	S62.05.24	14.8	0.010	0.002	20	1.310	0.029	20	1.310	0.029
S62-04	S62.07.03	41.2	0.012	0.001	60	1.218	0.036	20	1.250	0.036
S62-05	S62.07.15	42.6	0.039	0.001	40	5.315	0.028	20	3.120	0.047
S62-06	S62.07.25	14.8	0.008	0.001	20	4.535	0.007	20	4.535	0.007
S62-07	S62.07.26	12.1	0.008	0.001	120	1.012	0.032	20	-	-
S62-08	S62.08.15	16.6	0.020	0.001	20	4.595	0.016	20	4.595	0.016
S62-09	S62.09.25	23.4	0.012	0.001	120	1.397	0.033	20	0.855	0.055
S62-10	S62.10.06	31.9	0.007	0.001	60	1.555	0.016	20	0.845	0.030
S62-11	S62.10.24	51.3	0.007	0.001	20	0.750	0.035	20	0.750	0.035
S62-12	S62.11.04	32.8	0.004	0.001	60	1.043	0.016	20	1.120	0.015
S63-01	S63.03.22	58.8	0.020	0.001	120	1.007	0.075	20	0.965	0.078
S63-02	S63.05.12	66.5	0.023	0.002	20	1.500	0.058	20	1.500	0.058
S63-03	S63.05.22	55.6	0.011	0.002	40	0.435	0.097	20	0.155	0.272
S63-04	S63.06.02	51.2	0.010	0.002	100	0.986	0.039	20	0.655	0.059
S63-05	S63.07.14	104.8	0.014	0.002	160	0.632	0.083	20	0.405	0.129
S63-06	S63.07.28	70.0	0.038	0.003	0	4.000	0.036	20	3.000	0.048
S63-07	S63.08.02	25.5	0.009	0.005	80	0.938	0.037	20	1.000	0.035
S63-08	S63.08.11	142.0	0.095	0.008	40	7.000	0.052	20	7.500	0.048
S63-09	S63.08.29	13.5	0.015	0.006	20	5.500	0.010	20	5.500	0.010
S63-10	S63.09.01	20.5	0.065	0.005	40	3.250	0.076	20	2.750	0.090
S63-11	S63.09.25	110.6	0.078	0.009	20	3.465	0.085	20	3.465	0.085

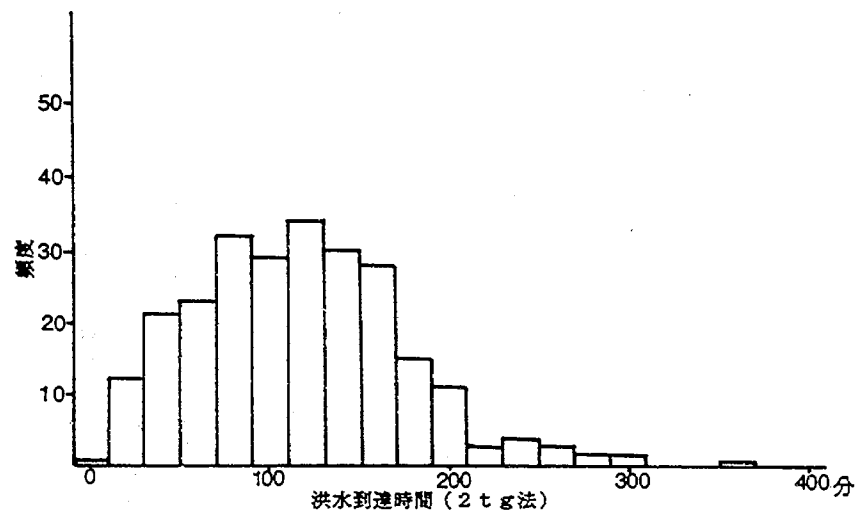


図 3.28 (1) 洪水到達時間頻度分布 (2tg 法) 山口

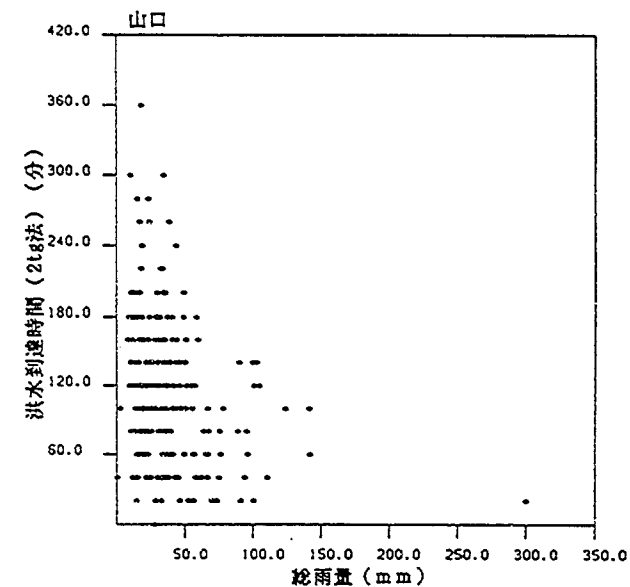


図 3.29 (1) 総雨量－洪水到達時間 山口

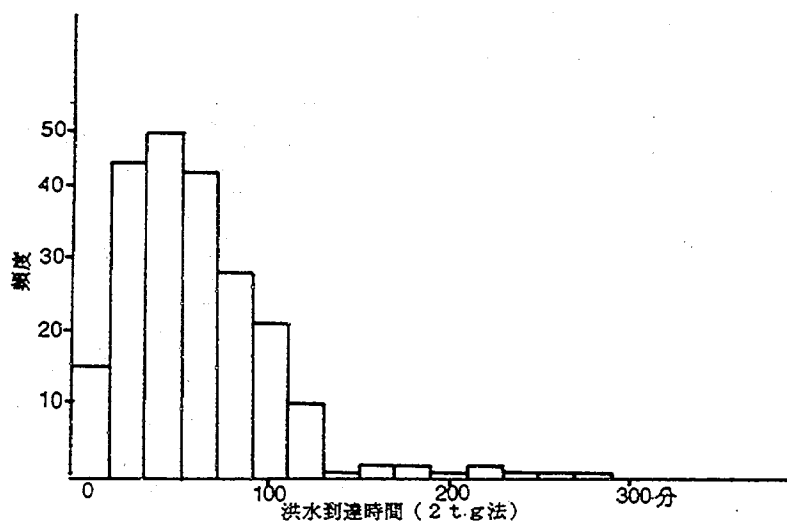


図 3.28 (2) 洪水到達時間頻度分布 (2tg 法) 祖父ヶ峰

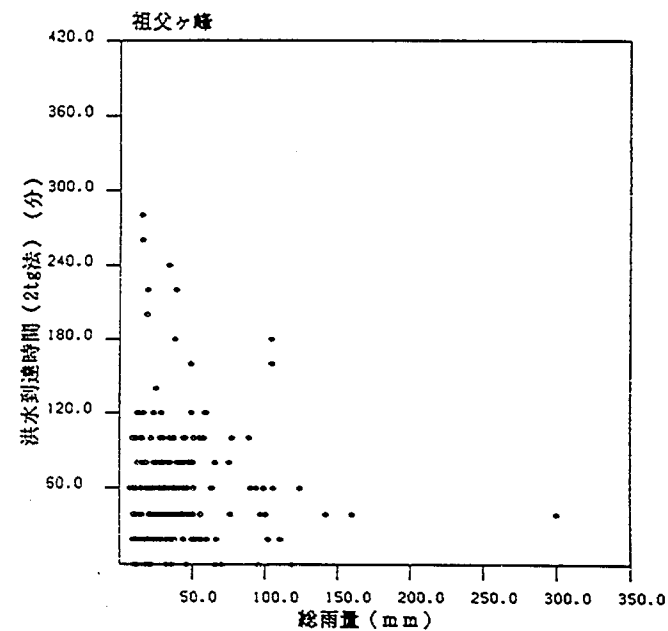


図 3.29 (2) 総雨量－洪水到達時間 祖父ヶ峰

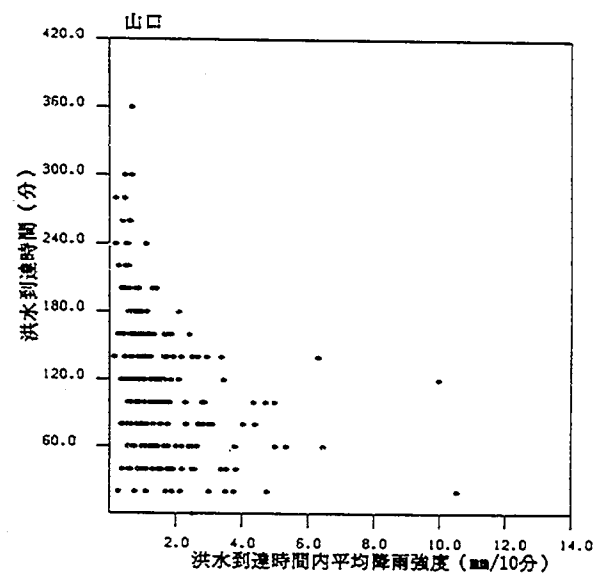


図 3.30 (1) 洪水到達時間内平均降雨強度－洪水到達時間 山口

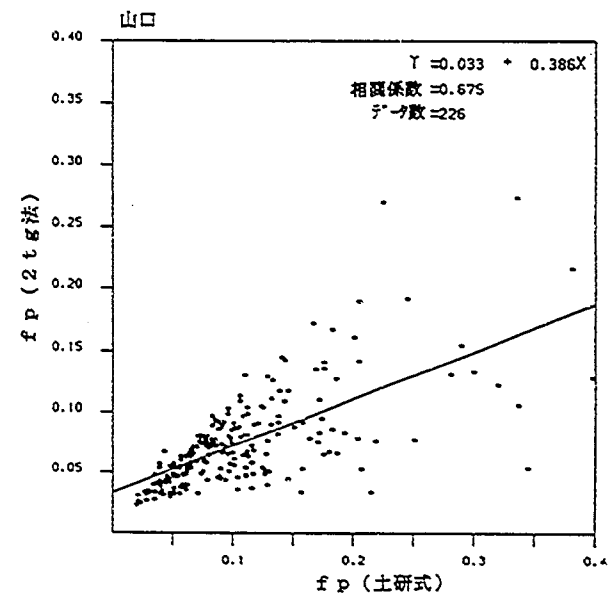


図 3.31 (1) f_p (土研式)－ f_p (2tg法) 山口

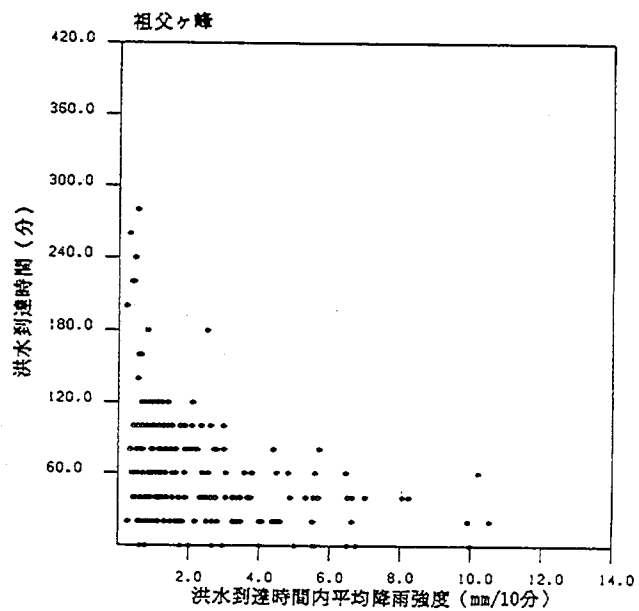


図 3.30 (2) 洪水到達時間内平均降雨強度－洪水到達時間 祖父ヶ峰

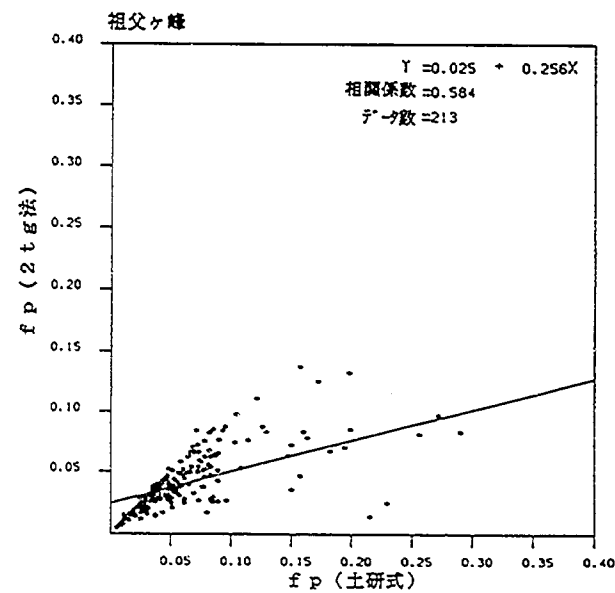


図 3.31 (2) f_p (土研式)－ f_p (2tg法) 祖父ヶ峰

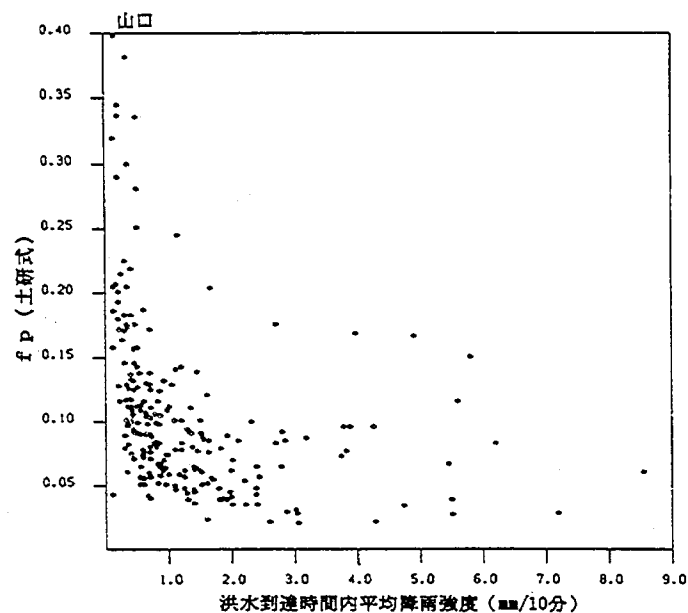


図 3.32 (1) 洪水到達時間内平均降雨強度- f_p (土研式) 山口

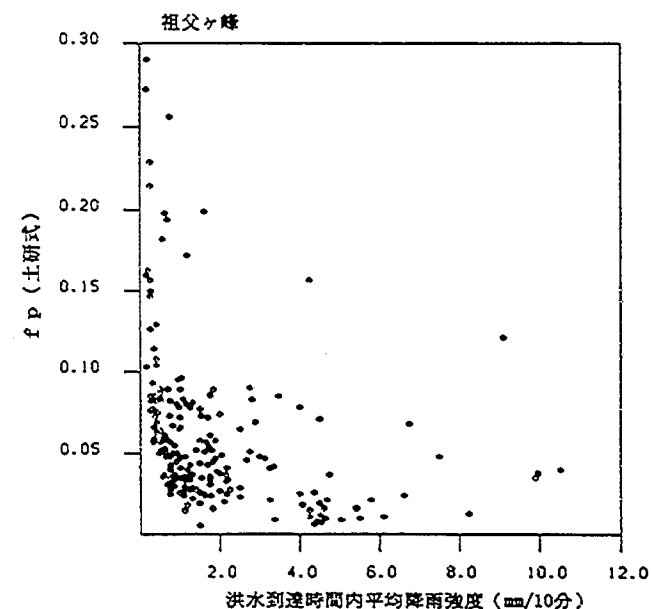


図 3.33 (1) 洪水到達時間内平均降雨強度- f_p (土研式) 祖父ヶ峰

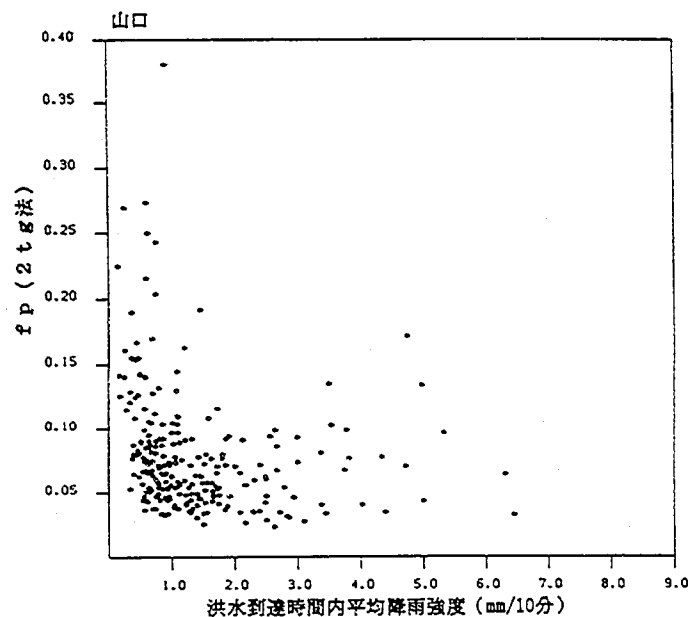


図 3.32 (2) 洪水到達時間内平均降雨強度- f_p (2tg法) 山口

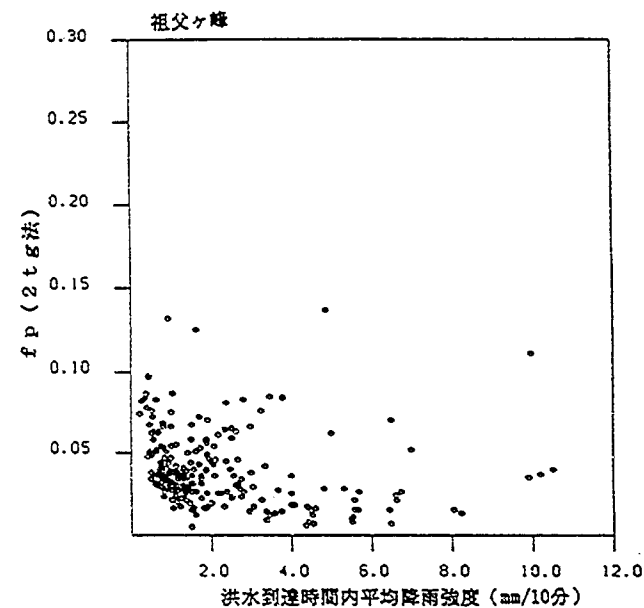


図 3.33 (2) 洪水到達時間内平均降雨強度- f_p (2tg法) 祖父ヶ峰

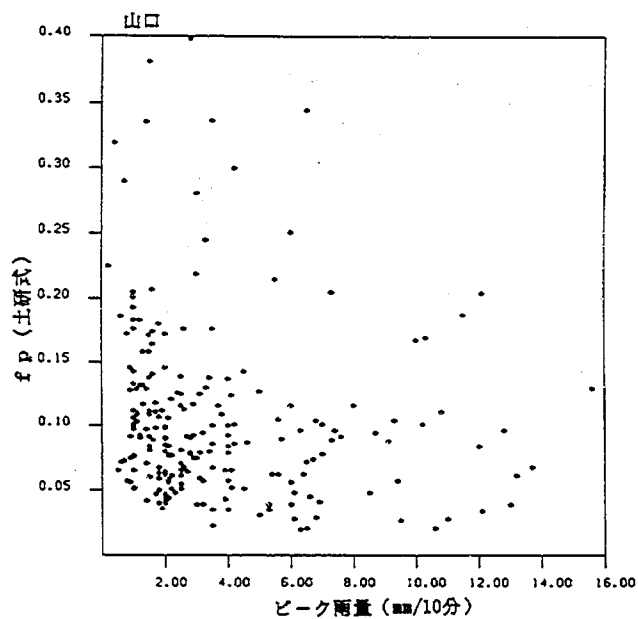


図 3.34 (1) ピーク雨量- f_p (土研式) 山口

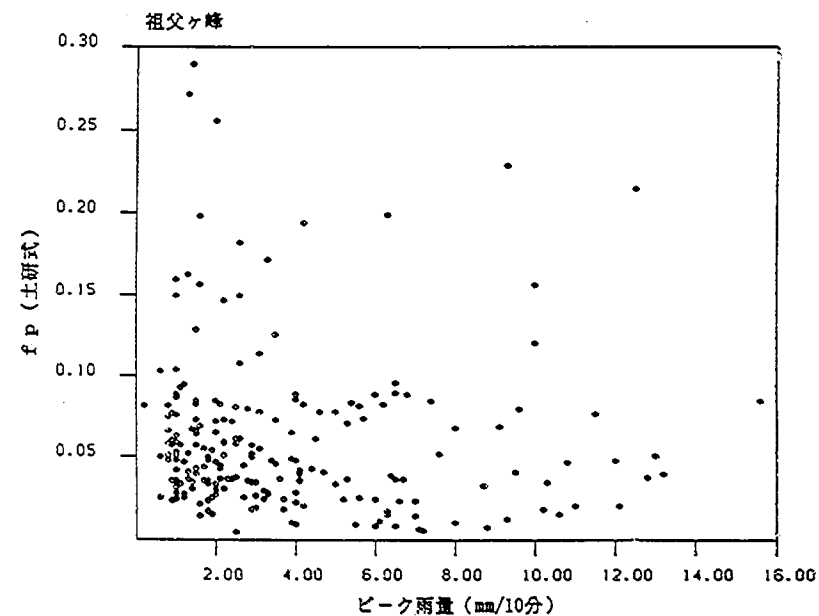


図 3.35 (1) ピーク雨量- f_p (土研式) 祖父ヶ峰

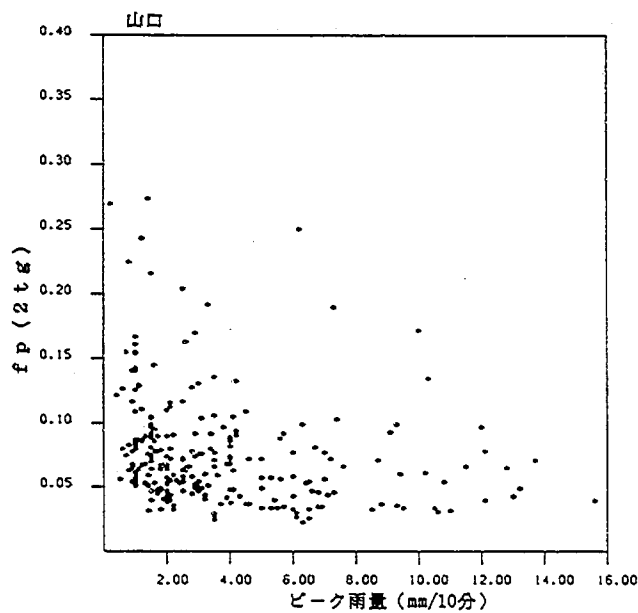


図 3.34 (2) ピーク雨量- f_p (2tg 法) 山口

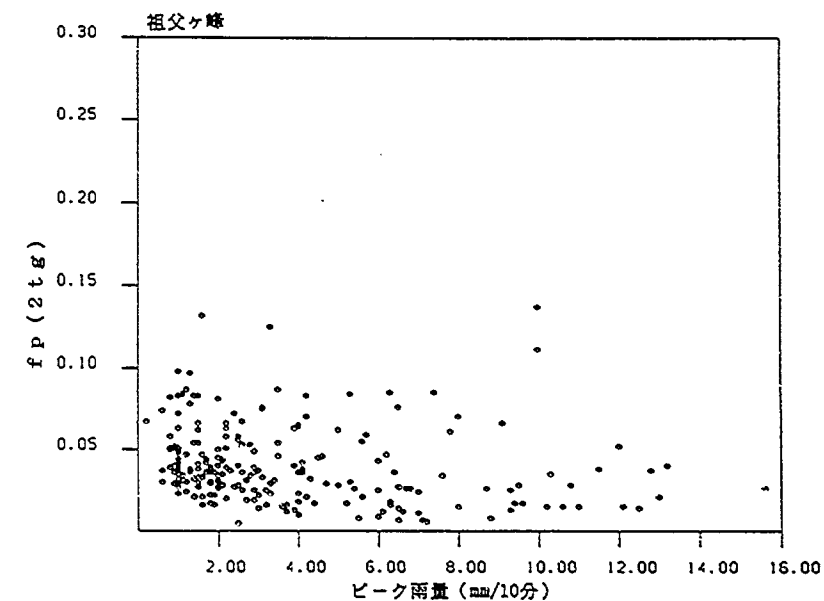


図 3.35 (2) ピーク雨量- f_p (2tg 法) 祖父ヶ峰

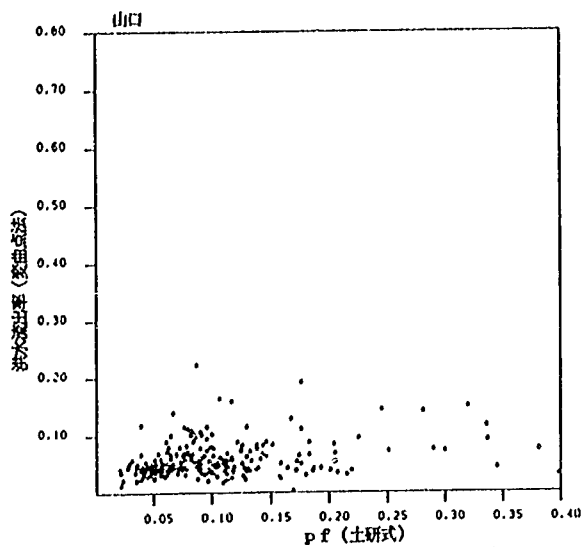


図 3.36 (1) pf (土研式) - 洪水流出率
(変曲点法) 山口

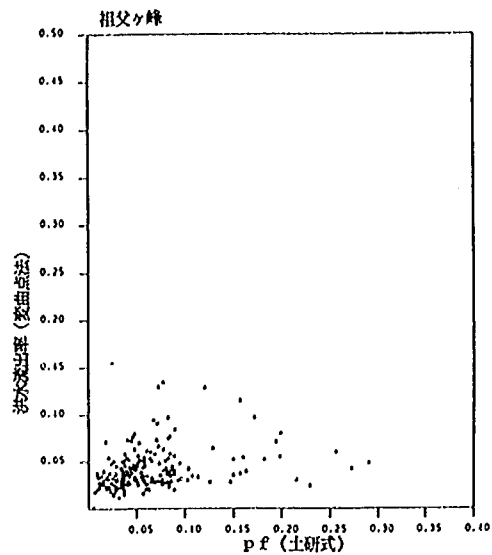


図 3.37 (1) pf (土研式) - 洪水流出率
(変曲点法) 祖父ヶ峰

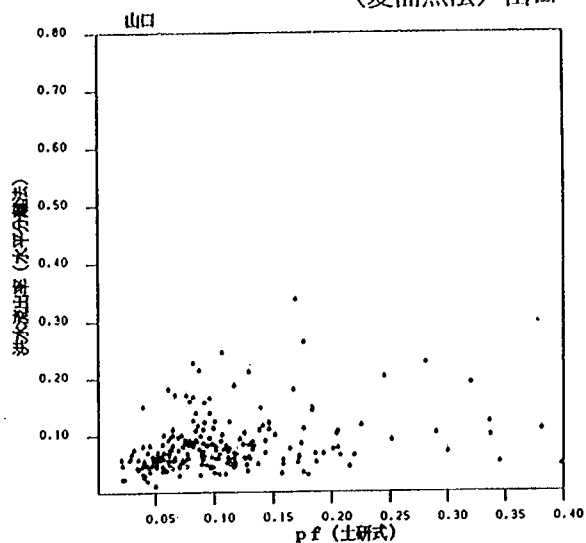


図 3.36 (2) pf (土研式) - 洪水流出率
(水平分離法) 山口

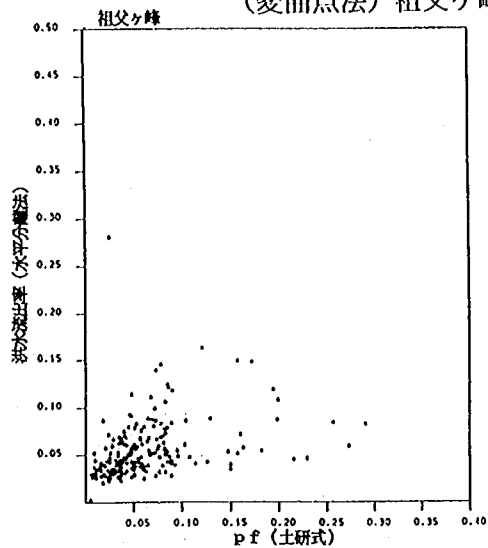


図 3.37 (2) pf (土研式) - 洪水流出率
(水平分離法) 祖父ヶ峰

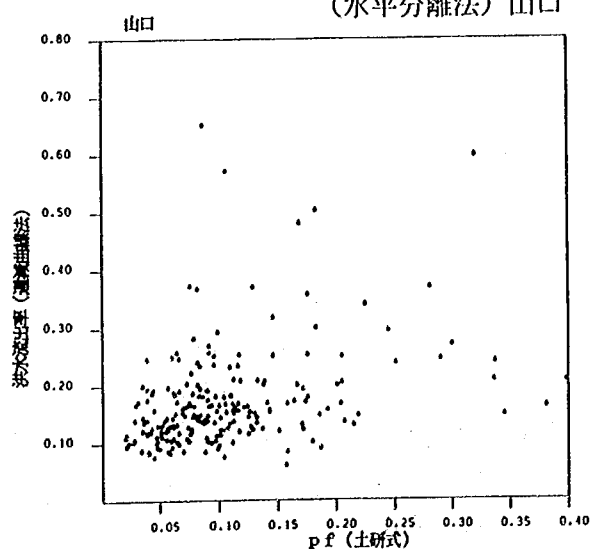


図 3.36 (3) pf (土研式) - 洪水流出率
(逓減曲線法) 山口

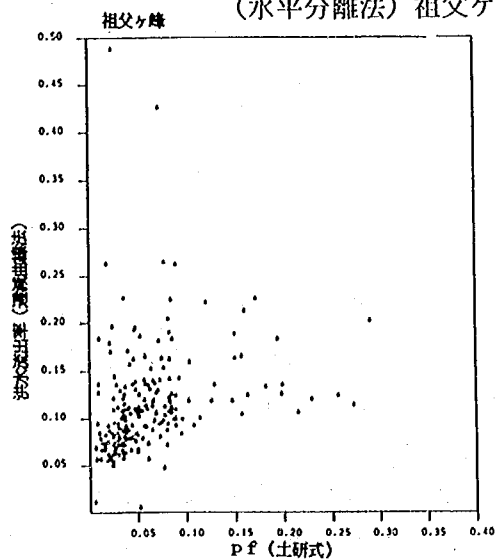


図 3.37 (3) pf (土研式) - 洪水流出率
(逓減曲線法) 祖父ヶ峰

3・4 表面流発生量の現地観測

洪水時における降雨流出経路には表面流出、中間流出、地下水流出等、その他色々な形態が考えられる。これらの流出形態の中でも表面流出が流出波形に支配的であるという考え方があり、これに基づいた洪水流出計算手法には表面流出を水理学的に追跡する等価粗度法等がある。しかし、表面流出についての観測事例は少なく不明な点が多かった。そこで、1970年に裏筑波流域内の小流域を選び、降雨時に表面流がどの様に発生するか、その発生量について現地観測を行った^{1・2)}。

3・4・1 観測域の概要

観測対象とした流域は、祖父ヶ峰流量観測所の左岸側直上流に位置する0次谷である（その後1987年より再度観測が行われ小沢流域と呼ばれる）。流域面積は1 ha、観測当時の植生は5～6年生のマツ及び雑草であった。（流域図は図2.16参照）

3・4・2 観測方法

流域末端と流域中央部の斜面の2ヶ所において表面流の流量観測を行った。表面流が発生した際に水道または流路となる谷筋に、流量観測用の小型箱型三角堰を設置し、これより左右両側の山腹最大傾斜線に沿って集水用の袖板を出す。降雨量及び堰の越流水深は長期巻自記水位計により記録を行った（写真2.6参照）。

3・4・3 観測結果

観測は1970年3月より1971年10月まで行った。観測開始より、谷の中央においては一度も表面流出の発生を見ず、谷の下流端においては降雨のたびごとに表面流の発生を記録した。谷の下流端における観測記録の例を図3.38に示す。ただし、この谷には下流端より少し上流に常に湧水があるので、下流端側の観測所では表面流出の発生があれば湧水量に発生量が上積みされる。図より表面流出量はその時々刻々の降雨強度に非常に敏感であることが分かる。すでに観測された数降雨における両者の関係を図3.39に示す。この図から、降雨強度が20mm/hr以下の範囲では表面流出量は概ね降雨強度に比例しており、従ってこの谷（1 ha）の約0.7%の部分で常に表面流が発生していると推測できる。降雨時の現地調査により、表面流は谷の下流端近くのみで発生していることが認められる。もし降雨強度が大きくなれば表面流の発生する面積が増すであろう。残念ながらこの図の降雨強度以上の降雨は観測できなかった。

3・5 山地小流域における降雨流出現象の現地観測

降雨流出現象は入力としての降雨と出力としての流量との関係として解析されてきた。しかし、信頼性の高い治水計画や観測データの少ない流域での河川計画はこの様な手法では難しく、流出発生 of 物理機構に基づいたモデルによる予測が必要となる。そこで、流出機構を調べるために裏筑波試験地内の小流域において各種の流出現象の観測を行った。

3・5・1 観測域の概要

観測対象とした流域は、祖父ヶ峰流域内の小流域である小沢流域とした。（流域図は図2.17参照）

小沢流域は祖父ヶ峰流量観測所の左岸側直上流に位置する0次谷である。流域面積は1 ha、流域平均勾配は31°、河道最上部より本線合流点までの河道の長さは約38m、河道勾配は1/1.7である。河道最上部は緩勾配になっており飽和域が発生している。飽和域の面積（河道部も含む）は7～10月の晴天時に約75㎡で、乾期となる1月には約50㎡となっている。飽和域に接する上部斜面と飽和域との地形の変曲点付近からは湧水が2ヶ所流れ出している。河道部は崩壊に伴う大石（直径30～70cm）が堆積し流水はこれらの間を伏流している。

流域の植生は樹齢（23）年のヒノキ及びアカマツからなる国有林で、地床はナラ等の低木や草の繁茂

が著しい。

図3.40にハンドオーガによる浅層地質調査図を示す。現地よりサンプリングした土質試料（T3付近、深度20cm）について土質試験を行ったところ、粒度特性は砂質土分71.9%、粘性土分28.1%であり、土粒子の比重は2.597、透水係数は $1.70 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ であった。

3・5・2 観測方法

小沢の流出は飽和域から発しており、ここでの現象を観測することは流出メカニズムを解くカギとなると考えられる。そこで、飽和域の上部、中部、下部に地下水位観測井を設け、飽和域周辺斜面における土壌吸引圧を調べるためテンシオメータを飽和域上部斜面の河道延長線上に2箇所、飽和域右岸の同一標高上に2箇所の計4箇所（設置深度20cm、50cm、100cm）を設けた。飽和域上部の湧水2箇所の流量をメスシリンダにより測定した。流域からの流出量は流域末端に設けられた三角堰により測定を行った。

流出経路の違いは水質に大きく影響すると考えられる。そこで、河川水と湧水の水質サンプリングを行った。サンプリングは、祖父ヶ峰、小沢流域末端、湧水部において週1回定期的に行なった。又、降雨時には降雨前より降雨終了後までをサンプリング間隔15～360分で行った。これらのサンプルについて電気伝導度、水温、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 K^+ 、 SiO_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 $\delta^{18}\text{O}$ の分析を行った。

3・5・3 観測結果

3・5・3・1 低水時の地下水位、湧水量、土壌吸引圧の変化

飽和域中の地下水位、飽和域上端の湧水流量、土壌吸引圧の年変化（1988,5～1989,5）を図3.41に示す。図中には地下水位No.2の日平均値、湧水No.2流量及び小沢流量の週1回観測値、テンシオメータT2—20cm、50cmでの観測値、祖父ヶ峰の日平均流出高、日降雨量を示している。

湧水量は観測開始時の8月より増加しており9月25日の降雨（総降雨104.5mm）で流量が急激に増加し、その後徐々に減衰している。

飽和域中の地下水位変動は7月から増加傾向にあり9月25日の降雨時には地表面まで達しており、その後の無降雨で徐々に低下している。地下水位が地表面に達している期間をのぞけば、地下水と湧水の波形はかなり似通ったものとなり、地下水は湧水と同じ地中流によってかん養されているものと考えられる。

小沢の流量を見ると11月～3月までの降雨の少ない期間では、ほぼ湧水の流量と等しくなっていることから、小沢の低水時の流量は湧水の流量によって維持されている。

3・5・3・2 降雨時の地下水位、湧水量、土壌吸引圧の変化

降雨時における河川流量、湧水流量、土壌吸引圧等の観測結果を2例示す（図3.42、3.43）。

図3.42は1989,2,16降雨時の観測結果で総降雨量は41mmであった。小沢の流量は降雨に俊敏に反応した変動をしている。河道上端の湧水流量は降雨に対応した変動が見られるが変化量は微量で降雨期間中ほぼ一定と考えられる。

図3.43は1989,8,26降雨時の観測結果である。総降雨量は97.5mmであった。前記の降雨時と同じく小沢の降雨に対する反応は俊敏である。湧水の流量も降雨に反応して変動していることが明瞭にわかるが、小沢の流出変化量からみれば微量である。

小沢の流出はどの様にして流れてくるのであろうか。まず考えられるのは地表面を流れる表面流出である。しかし、観測時においてその様な流れは観測されなかった。すると、地中からの流出ということになる。地中からの流出である湧水の流出は基底流出的な流れであり降雨時の流出波形形成には大きく寄与していない様である。湧水以外の地中からの流出は大きく分けて2種類考えられ、一つは土壤中に貯留されていた水の流出、もう一つは降雨が土壤中を浸透し流出するものである。前者は水質をトレーサ

一とすることにより推定が可能でありこれは後述する。後者は土壤中に設置したテンシオメータにより推定が可能である。テンシオメータによる土壤吸引圧の観測値は2降雨ともに表層部の深度20cmでは降雨に対し反応が良いが、深度50、100cmでは反応が遅く、100cmに降雨の浸透流が到達するのに、1989.2.16降雨で13時間、1989.8.26降雨で6時間の遅れを生じている。従って、降雨が土壤中を鉛直浸透しそれによって流量が増加しているとは考えられない。しかし、側方浸透流の影響については不明である。

3・5・3・3 低水時の水質変化

週1回ずつの観測で得られた河川水及び湧水の水質分析結果を図3.44に示す。

NO_3^- -Nは祖父ヶ峰、小沢、湧水とも変化パターンは同じで8～9月の降雨では濃度が高くその後10～12月の無降雨期間では濃度は徐々に低下している、このような傾向は、生物活動による NO_3^- -Nの生産量と降雨流出のバランスによるものと考えられる。

電気伝導度は NO_3^- -Nとほぼ同様の变化傾向を示しているが、祖父ヶ峰、小沢の河川水と比べると湧水は若干値が小さい。

水温は祖父ヶ峰、小沢とも冬季に水温が下がっているのに対し湧水は観測期間を通じてほぼ12.5℃であり、土壤層の深い所からの流れであると考えられる。

3・5・3・4 降雨時の水質変化

降雨時に行った水質観測結果の3例を図3.45～3.47に示す。

図3.45は1987.7.15の総降雨量41.0mmにおける祖父ヶ峰での観測結果、図3.46は1989.2.16の総降雨量41.0mmにおける小沢、湧水（N02）での観測結果、図3.47は1989.8.26の総降雨量97.5mmにおける小沢、湧水（N02）での観測結果である。

降雨の水質分析を行った結果を表3.14に示す。表より $\delta^{18}\text{O}$ を除くそのほかの降雨水質濃度はすべて降雨前の河川水質濃度よりかなり低いことがわかる。したがって、降雨に起因した流水が河道に流入すれば河川水質は、 $\delta^{18}\text{O}$ では濃度上昇をし、そのほかの水質では降雨の希釈効果により濃度が減少すると考えられる。

図3.45～3.47の祖父ヶ峰及び小沢地点の水質濃度変化をみると、 $\delta^{18}\text{O}$ 、EC、 SiO_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} は予測と一致するが、 NO_3^- -N、 K^+ は逆に増加している。これは土壤中における物質の鉛直分布状態によるものと考えられる。平田ら³⁾による土壤水質鉛直分布の観測によると、 SiO_2 、EC、 Cl^- は土壤中に均一か表層部において濃度が低く、 NO_3^- -N、 K^+ は土壤表層部において濃度が高い結果となっている。

従って、降雨により水質が増加する項目は、土壤表層付近で濃度が高いために雨水は土壤表層部と接触した際に地下水より濃度が増加し、水質が減少する項目は土壤中に均一で、浸透した雨水は土壤との接触時間が地下水と比べ少ないため雨水が混入すると濃度が減少すると考えられる。

3・5・3・5 流出経路の推定

河川水質は降雨水質と地下水水質の混合からなるとして、流出成分分離を式3.14により行う。なお、 C_n は降雨水質の平均濃度で一定とし、 C_o は降雨前の河川水質とし降雨期間中変化しないとした。

$$Q_o = \frac{C_i - C_n}{C_o - C_n} Q_i \quad \dots\dots\dots \text{式3.14}$$

Q_i : 総流量 Q_n : 雨水の水質成分を持つ流出成分 Q_o : 地下水の水質成分を持つ流出成分
 C_i : 河川水質 C_n : 雨水の水質 C_o : 地下水水質

流出成分分離に使用する水質項目は $\delta^{18}\text{O}$ 、EC、 SiO_2 、 Cl^- とした。図3.48に1989.8.26降雨における小沢の分離ハイドログラフを示す。使用する水質項目によって分離の波形及び分離割合に若干の

違いはあるが概ね小沢で85%程度は地下水の水質を持つ流出成分であり、しかも土壤中に貯留されていた旧水であることがわかる。なお、4番目の降雨時に新水の卓越した分離結果となっているが、これは採水の欠測により分離が行えなかったためである。

小沢への流出経路は表面流出が観測されないので図3.49の様に推定できる。①、②は降雨の一部であり③、④は降雨前から土壤中に貯留されていた水である。小沢で①+②+③+④を、湧水NO2で③を観測しており、①は飽和域の面積より算出できる。又、流出成分分離により $(①+②)/(③+④)$ がわかる。以上から①=0.62mm、②=-0.05mm、③=2.38mm、④=1.17mmとなる。②がマイナスとなっているのは誤差のためでゼロと考えられる。③の湧水2.38mmのうち降雨による増水分は0.54mmである。従って、直接流出のうち約50%は無降雨時には流出しない土壤中に貯留されている水の湧水流出孔以外からの流出、約25%は湧水の降雨による増加、残りの25%は飽和域からの流出と推定できる。

現地観測結果より小沢地点の降雨時における直接流出の75%は地中からの流出であると推定した。

3・6 まとめ

本章では、観測データを用い本試験地の流出特性について述べた。

長期流出特性では、本試験地の年間降雨量は平均1380mm、年流出高は山口で平均800mm、祖父ヶ峰で約600mmであり、流況の安定した低水流量の大きい流域であることを示した。

短期流出特性では、洪水流出率及び流出係数について検討を行った。洪水流出率は山口で0.05~0.3程度、祖父ヶ峰で0.02~0.15程度であり他の流出試験地の結果と比べ小さな値となっている。また、洪水流出率の変動は降雨直前の土壤水分及び総降雨量により影響を受けることを示した。流出係数は、山口で0.02~0.3程度、祖父ヶ峰で0.01~0.15程度であった。

小流域における降雨時の現地観測では、湧水流量、地下水位、土壤吸引圧、流水の水質分析を行い、流出経路を概ね推定し直接流出の75%は地中からの流出であることを示した。

参考文献

- 1) 青木佑久：洪水の流出率とラショナル式の流出係数、土木技術資料13-2、1971年2月
- 2) 青木佑久：山地流域における洪水流出の追跡、土木研究所報告、第143号、1971年10月
- 3) 平田健正、岡村活爾：溪流水質から見た森林浄化機能に関する研究（第3報）溶存物質の流出機構、国立公害研究所研究報告、第116号、1988年
- 4) 吉野文雄、吉谷純一、深見和彦、堀内輝亮、山辺満：山腹斜面における降雨流出現象について、1989年研究発表会要旨集、水文・水資源学会、昭和64年8月、pp.137~140
- 5) 堀内輝亮、吉野文雄、吉谷純一、深見和彦：山腹斜面からの流出経路の推定、第45回年次学術講演会、土木学会、平成2年9月、pp.112~113

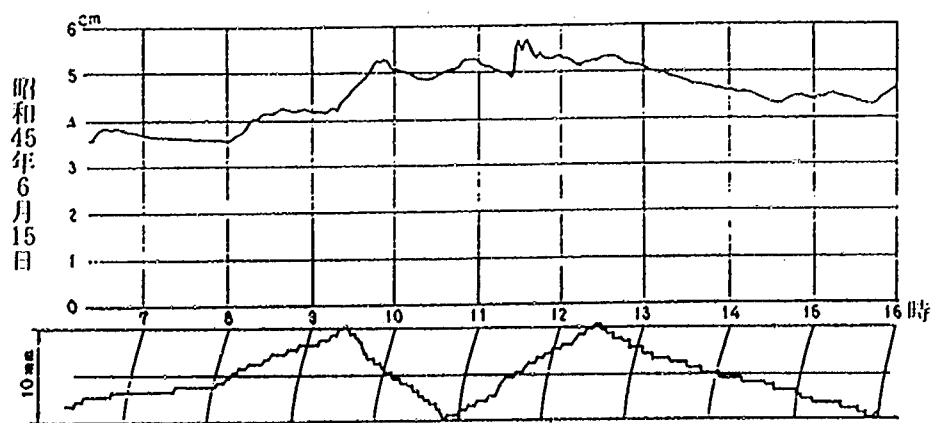


図 3.38 表面流出観測例 (開度 30° の三角堰)

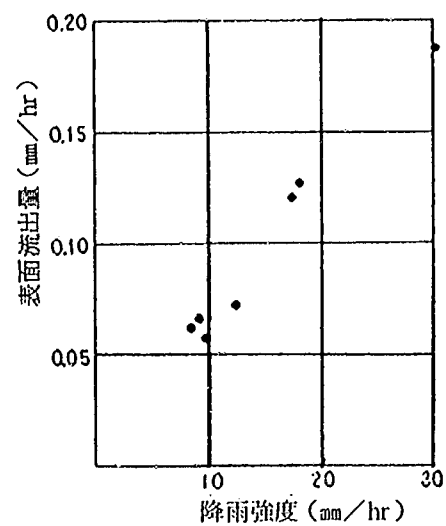


図 3.39 降雨強度と表面流出量

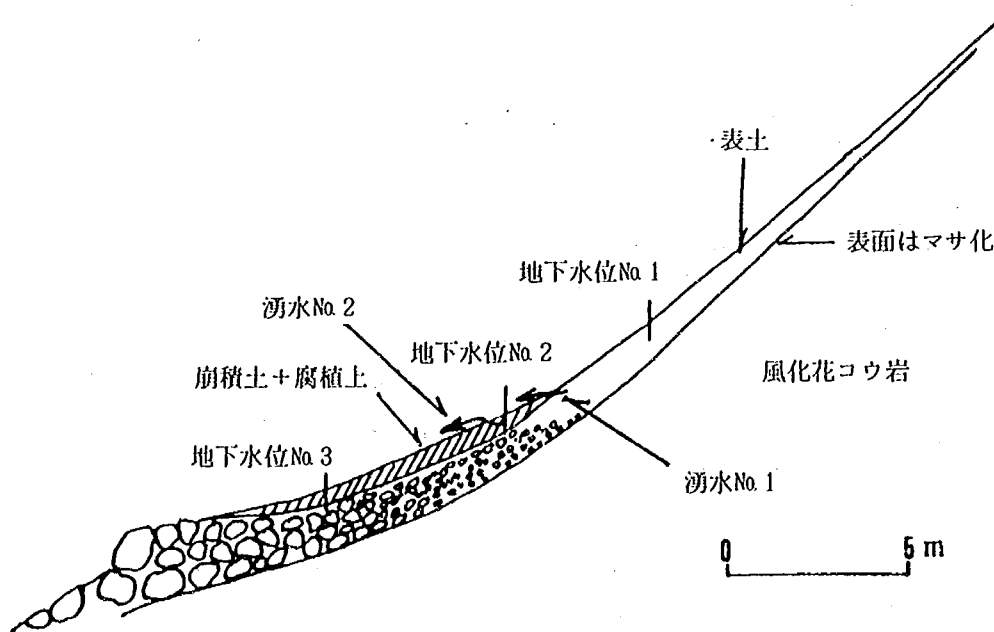


図 3.40 小沢浅層地質断面図

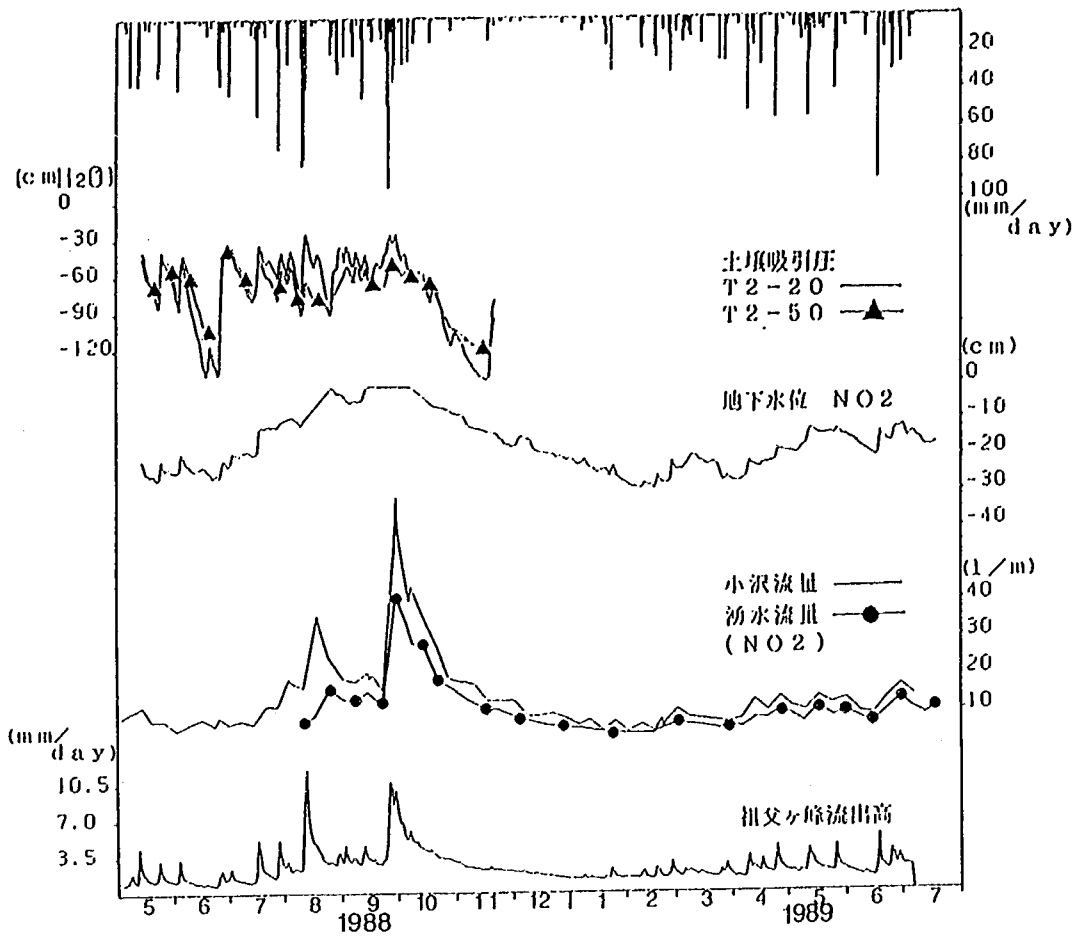


図 3.41 流量，土壌吸引圧等の年変化

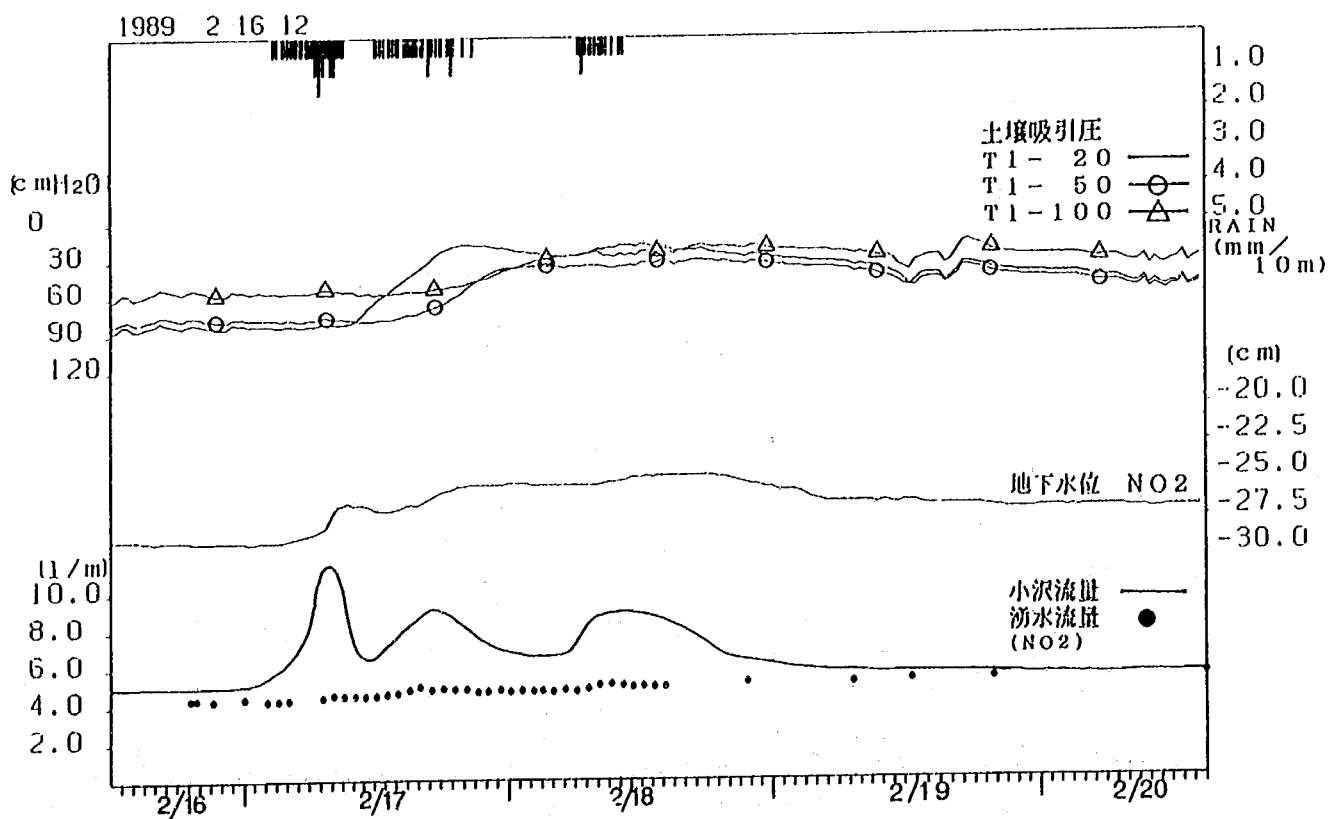


図 3.42 降雨時における流量，土壌吸引圧の変化（1989.2.16）

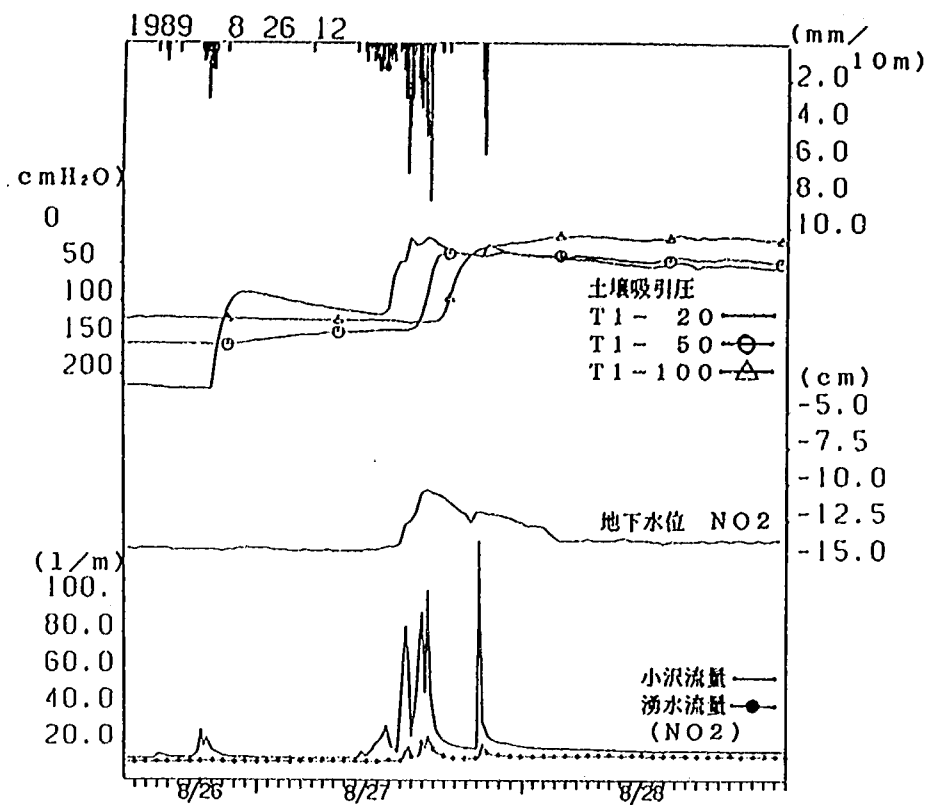


図 3.43 降雨時における流量，土壌吸引圧の変化 (1989.8.26)

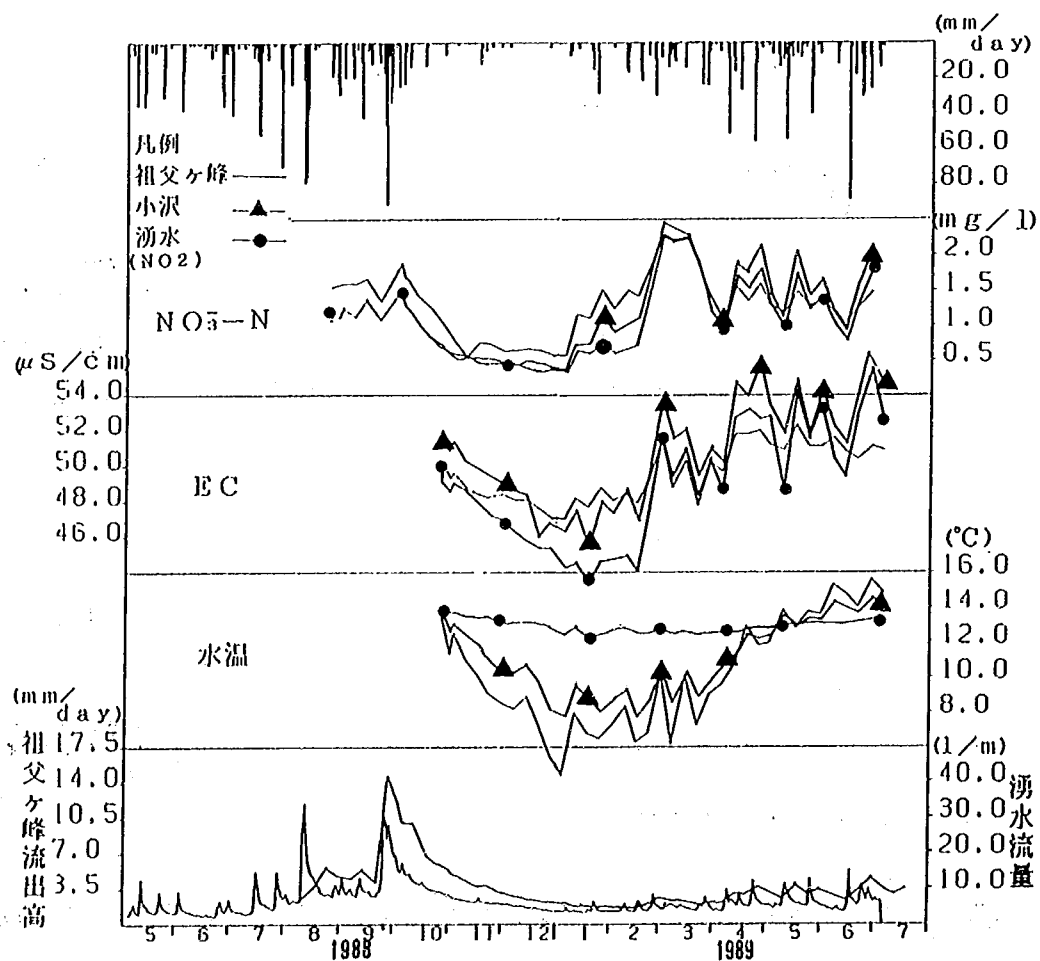


図 3.44 水質の年変化

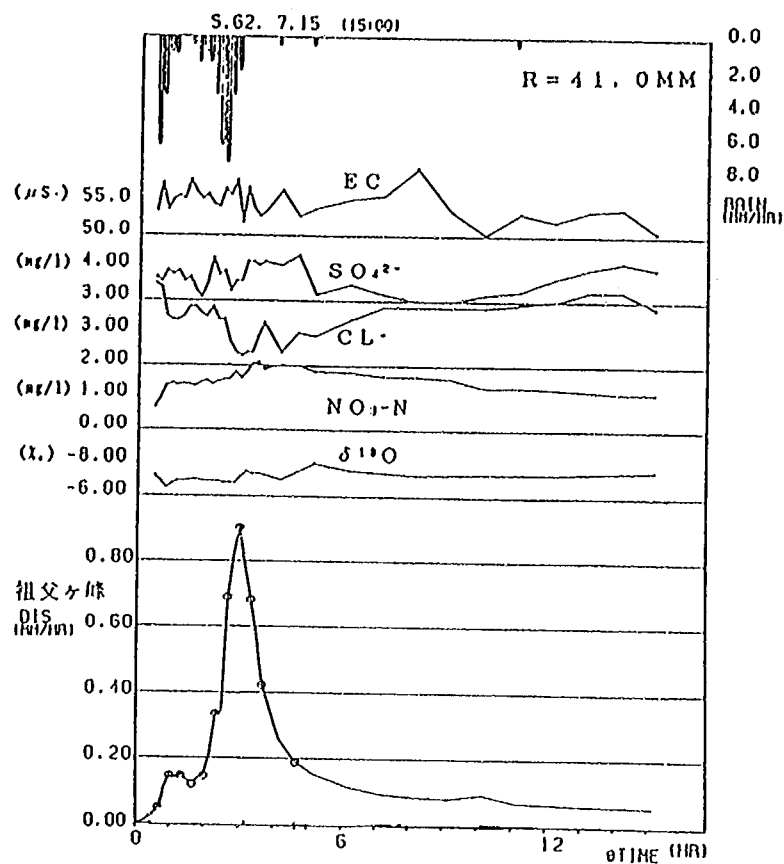


図 3.45 降雨時の水質変化 (1987.7.15)

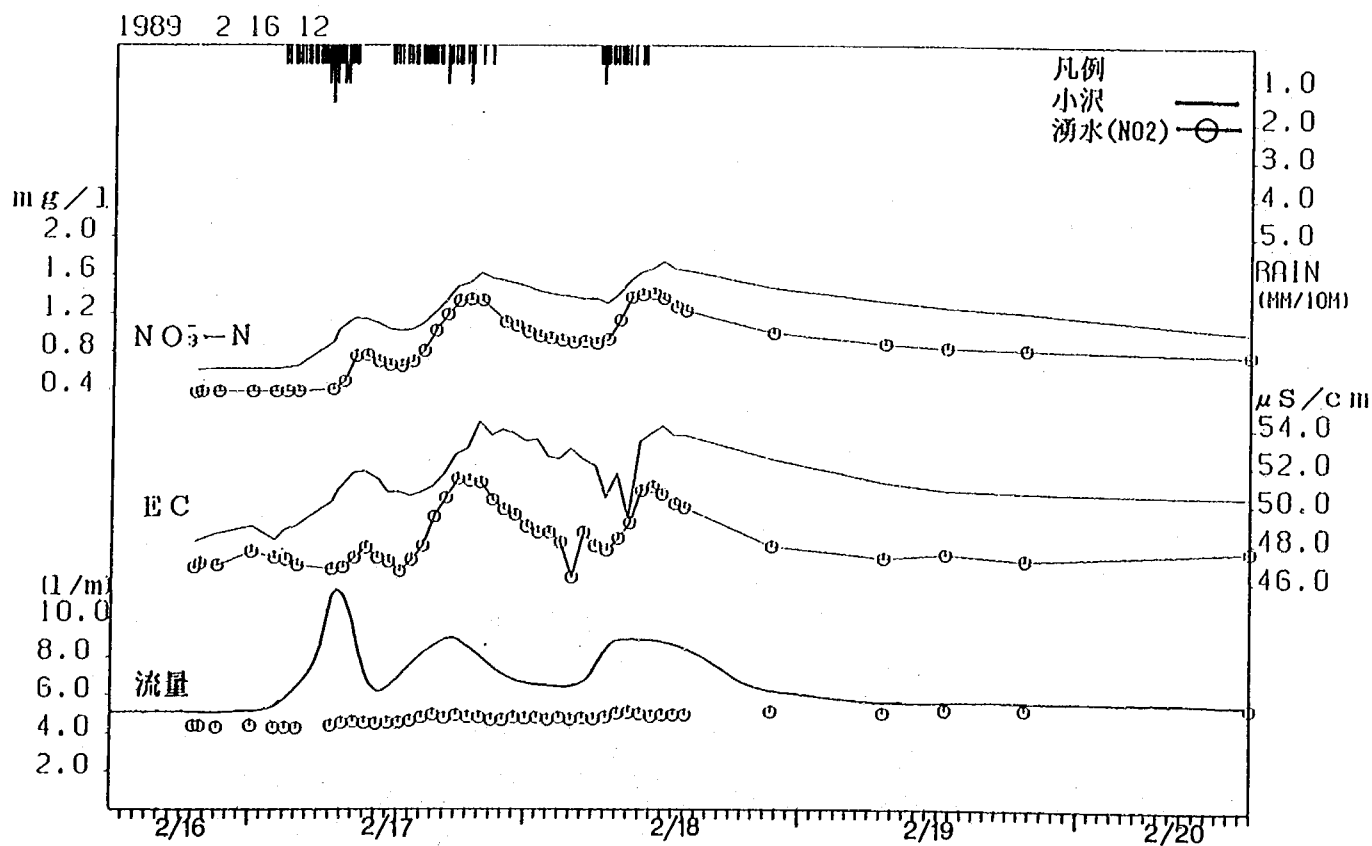


図 3.46 降雨時の水質変化 (1989.2.16)

表 3.14 降雨水質

水質	1987.7.15	1989.2.16	1989.8.26
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-	9.97	8.3
$\text{NO}_3^- - \text{N}$ (mg/l)	0.53	0.24	0.045
K (mg/l)	-	-	0.053
SiO_2 (mg/l)	-	-	0.340
Cl^- (mg/l)	0.5	-	1.183
SO_4^{2-} (mg/l)	2.4	-	-
$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-6.3	-	-6.365

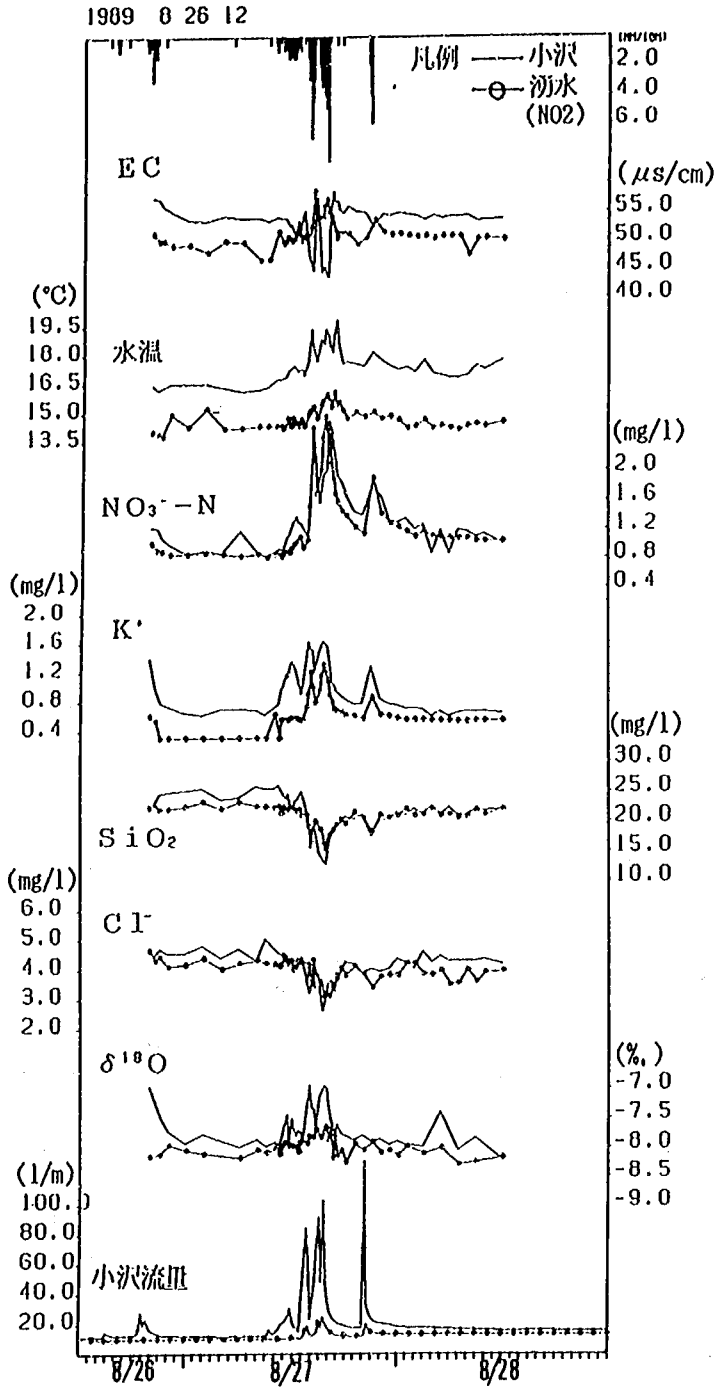


図 3.47 降雨時の水質変化 (1989.8.26)

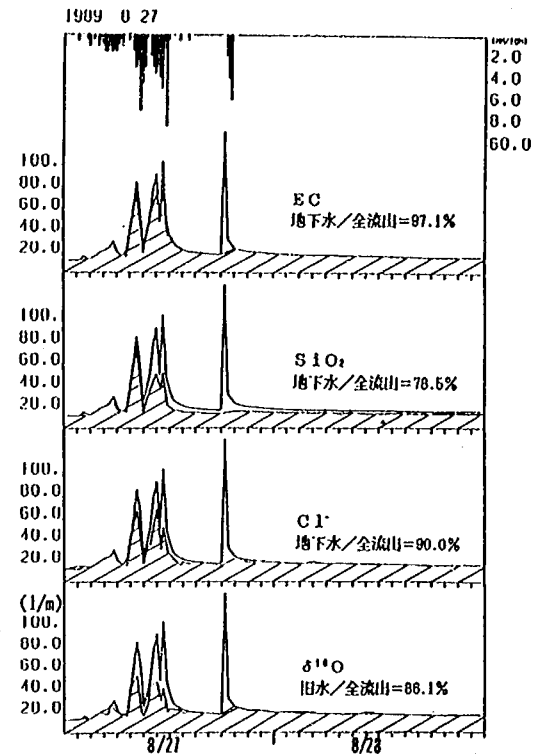


図 3.48 流出成分分離結果

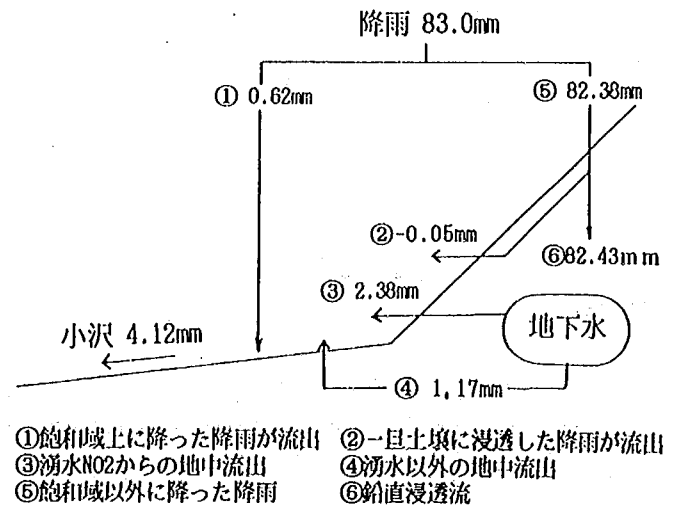


図 3.49 流出経路推定図

第4章 流出特性の解析

4・1 日流量解析

山口流域について低水流量解析をタンクモデル法を用いて行った。タンクの構造、形状については一般的な4段直列タンクとした。解析期間は1970～1988年の19年間とし、そのうち1970～1979年をモデル定数同定期間とし1980～1988年を検証期間とした。

4・1・1 モデルタイプ

モデルは蒸発散の与え方の異なる2つのモデルにより解析を行った。

1) ケース1

一般的な4段直列タンクとした図4.1(1)。蒸発散は計算蒸発散量に水収支を合わせるため係数0.794をかけこれを1段目より差し引く、もし、1段目に貯留水が無い場合2段目3段目4段目より差し引いた。

2) ケース2

4段直列タンクの最上段タンクの浸透孔を突出させた構造としこの部分を非浸透、非流出水位貯留（以下湿潤タンクと呼ぶ）として表した図4.1(2)。流域に降雨があっても表面流出には直接結びつかず流域の湿潤状態、前期降雨の影響により、浸透、蒸発散、地下水の浸出といった現象で表れ、また、それが低水流出に重要な要素となる。

蒸発散量の差引は1段目タンクのみで行う。タンク内水位が湿潤タンク天端より上の場合、計算蒸発散量全量を水位から差し引き、湿潤タンク内の場合湿潤タンク天端で計算蒸発散量、タンク底部で蒸発散量0とし、比例計算により蒸発散量を与えた。

4・1・2 降雨の与え方

雨量観測所は流域内に4ヶ所あるが、解析期間を通じ観測が行われているのは祖父ヶ峰観測所と、土俵場観測所である。土俵場観測所には欠測が若干含まれるため、祖父ヶ峰観測所での降雨データを流域降雨として与えた。

4・1・3 蒸発散量の推定

蒸発散量はHamonの式（式4.1）を用いて推定を行った。

$$E_p = 0.14 D_o^2 P t \dots\dots\dots \text{式4.1}$$

E_p ：日平均蒸発能(mm/day) D_o ：日照時間(12h/dayを1とする) $P t$ ：飽和絶対湿度(gm/m²)

飽和絶対湿度は気温との関係により導く事ができる。裏筑波流出試験地では気温の観測は行っていないため、近傍の笠間観測所（気象庁）の月平均気温データを用い推定した。

4・1・4 適応結果

モデルパラメータ同定結果を図4.2に示す。モデルパラメータの同定方法は洪水の逓減係数より概ね類推しその後、試行錯誤により決定した。計算ハイドログラフを図4.3～4.4に、年流出計算結果を表4.1に示す。計算結果はケース1、2共に概ね良い適応結果となっているが、ケース1では逓減部の適応が悪く、ケース2では良く適応している。

図4.2のモデル定数同定結果には、美和流出試験地でのモデル定数も併記している。美和試験地は流域面積1,36km²と裏筑波流出試験地山口流域の約半分であり、流域は森林に覆われた自然流域となっている。山口の1段目の浸透孔の定数は、美和流出試験地の定数と比べ1オーダー小さく、又、下の流出孔が小さくなっている。これは、山口流域の降雨初期における貯留能力の高さを表していると考えられる。1段目に貯留された降雨は2段目、3段目、4段目と浸透していきこれらが小さな流出孔から徐々に流出することにより無降雨でも安定した流出を発生させていると考えられる。

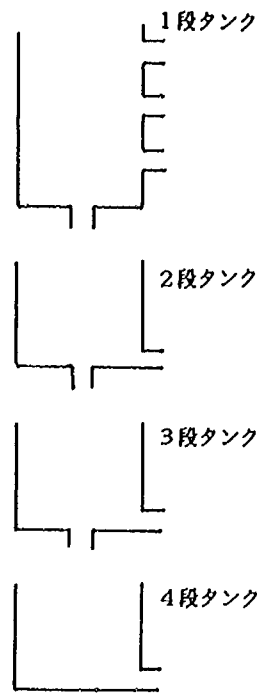


図 4.1 (1) モデル図 (ケース1)

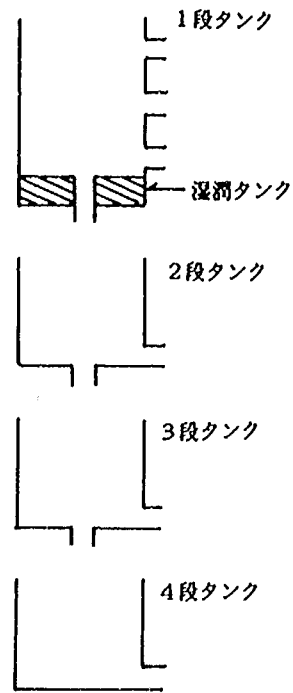
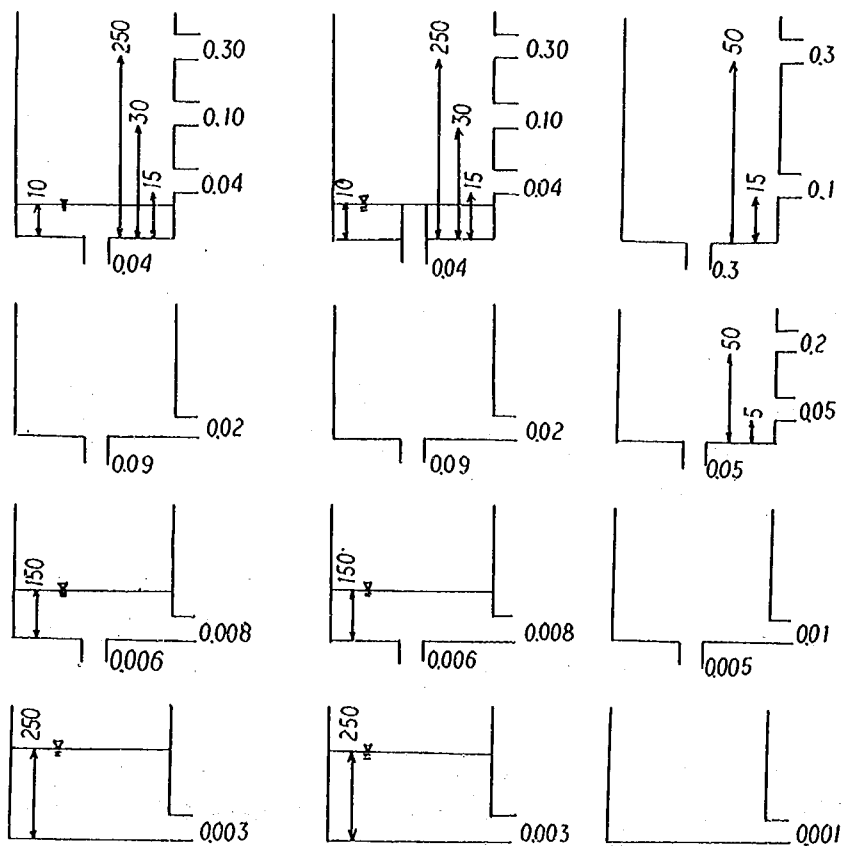


図 4.1 (2) モデル図 (ケース2)



山口 (ケース1)

山口 (ケース2)

美和流出試験地

図 4.2 モデル定数同定結果

1980 NEN

YAMAGUCHI

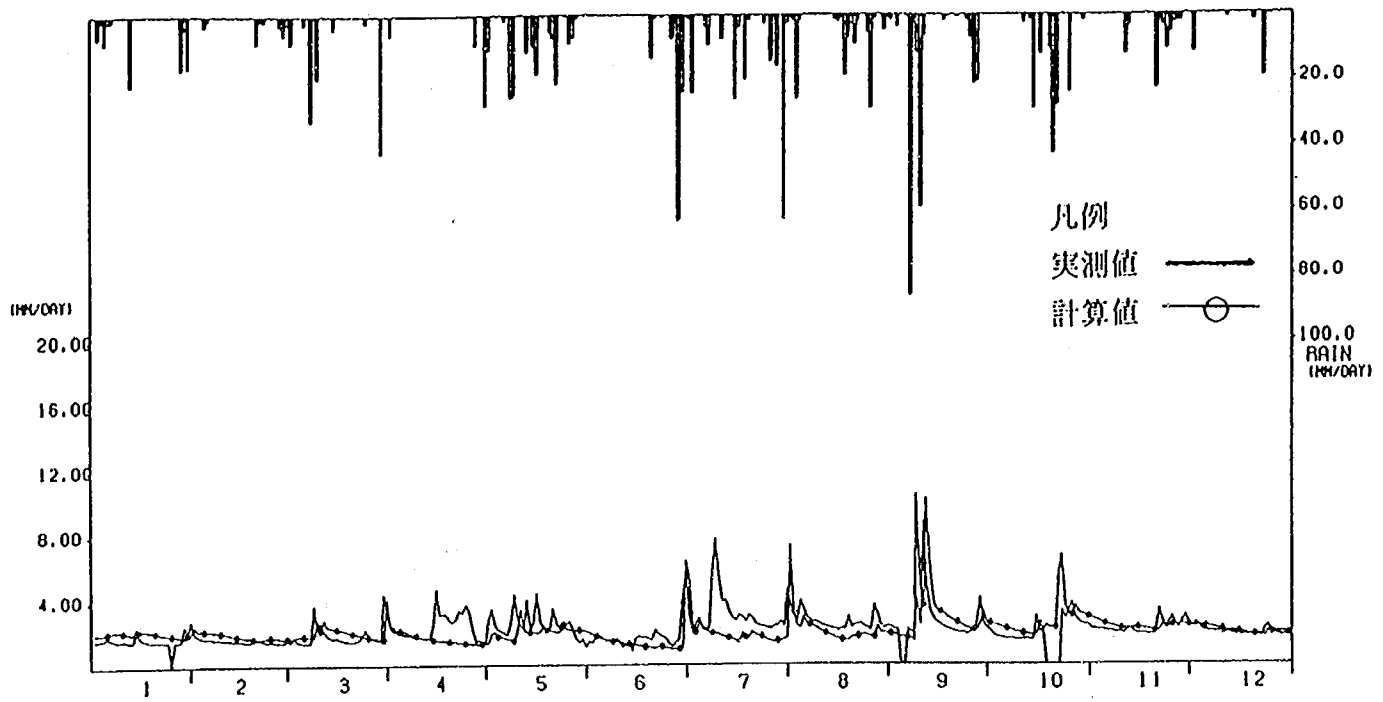


図 4.3 (1) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1981 NEN

YAMAGUCHI

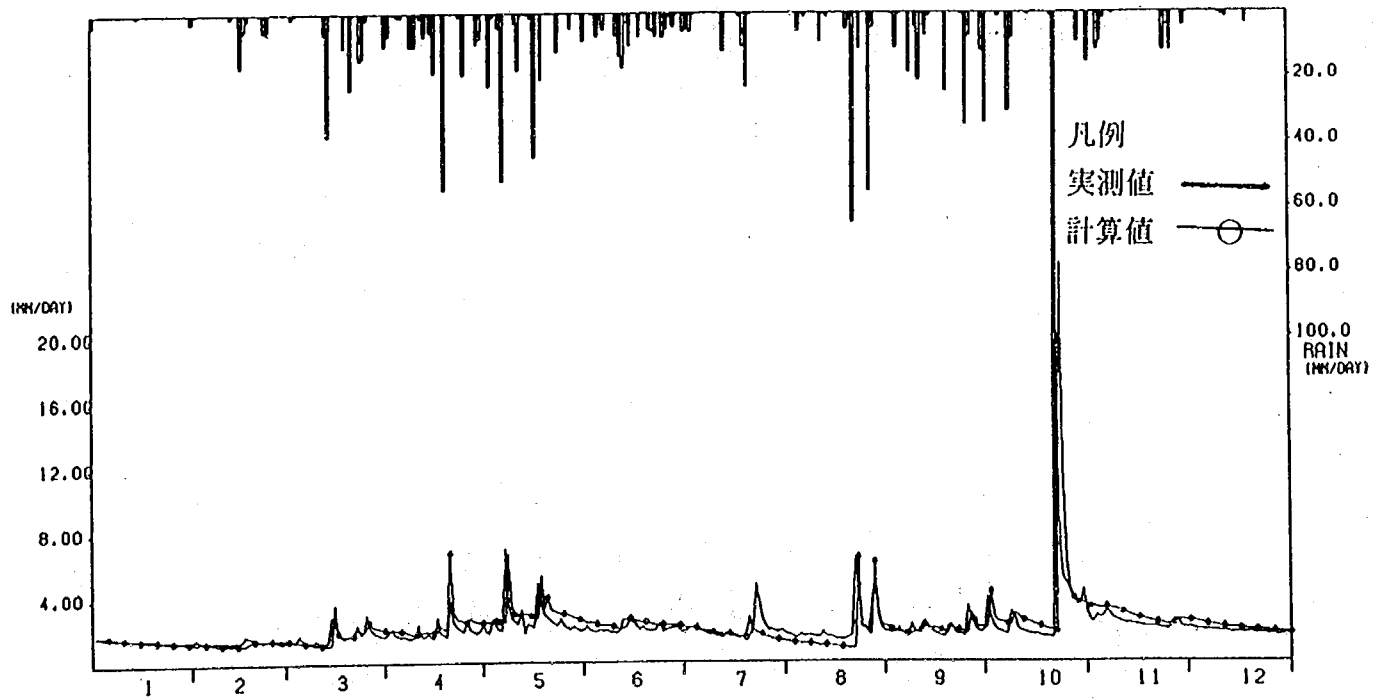


図 4.3 (2) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1982NEN

YAMAGUCHI

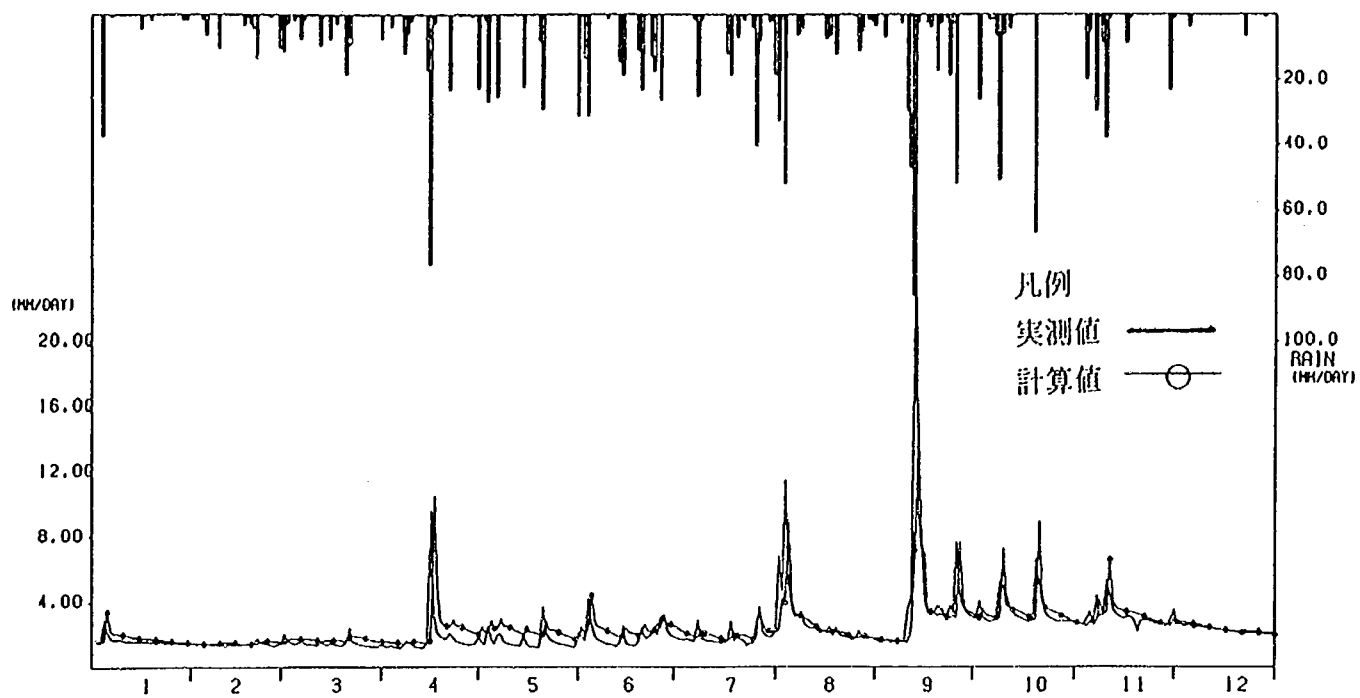


図 4.3 (3) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1983NEN

YAMAGUCHI

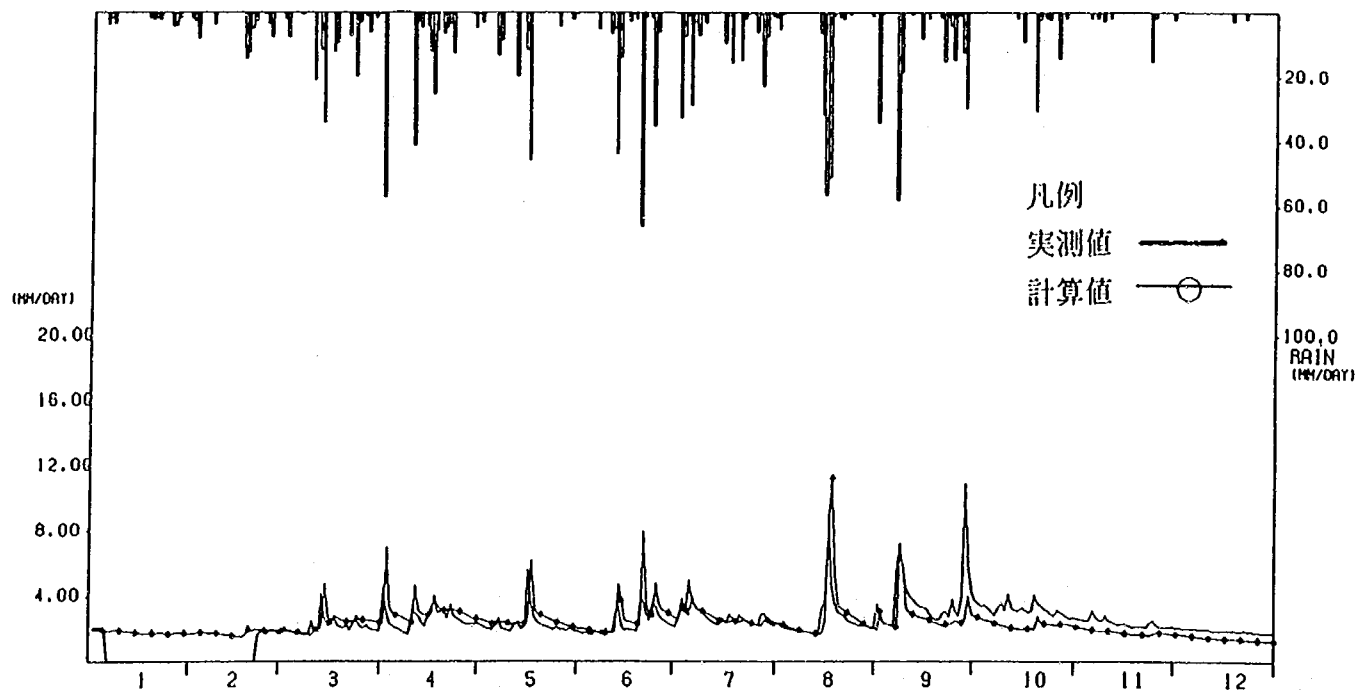


図 4.3 (4) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1984NEN

YAMAGUCHI

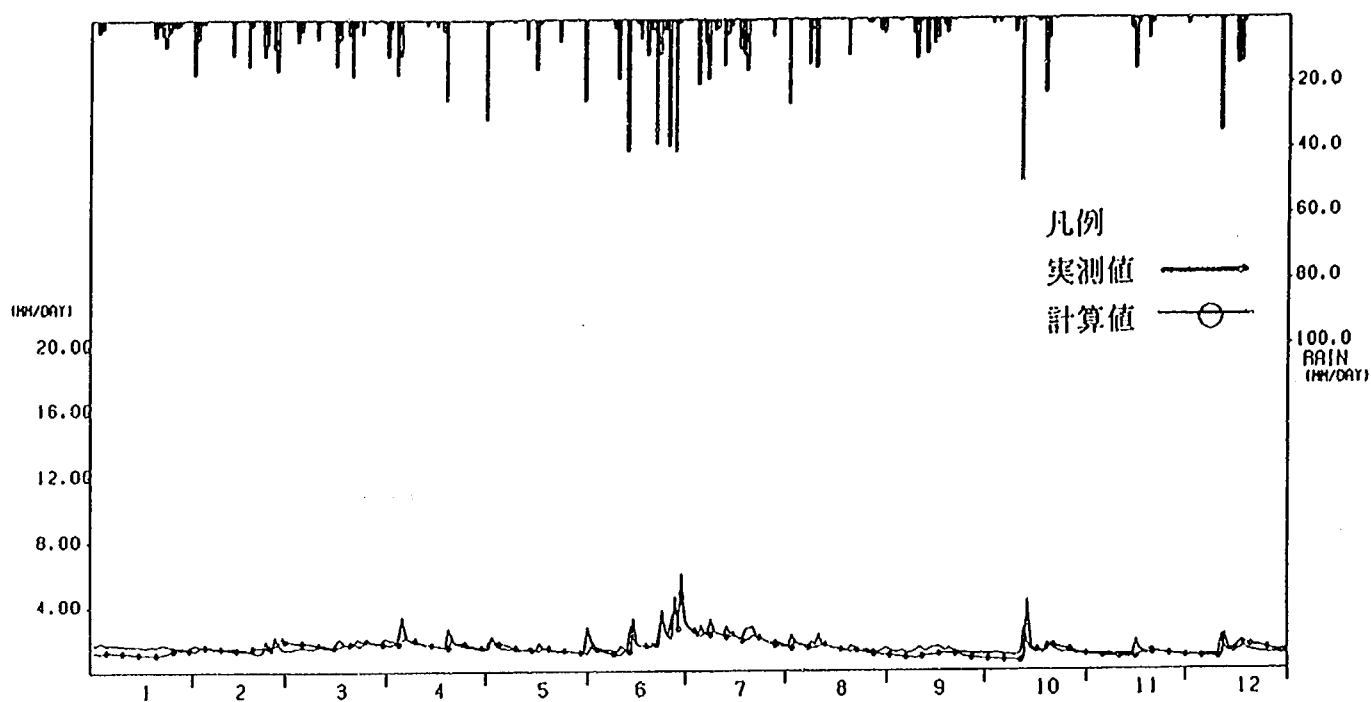


図 4.3 (5) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1985NEN

YAMAGUCHI

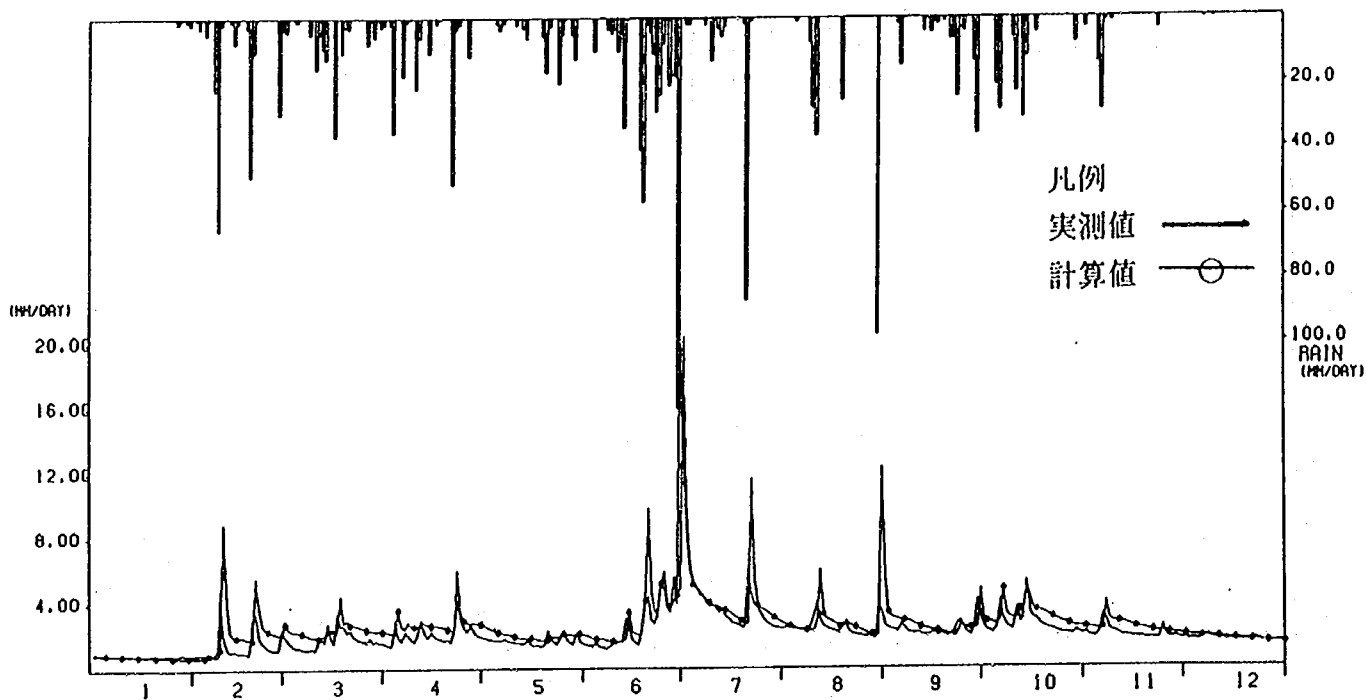


図 4.3 (6) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

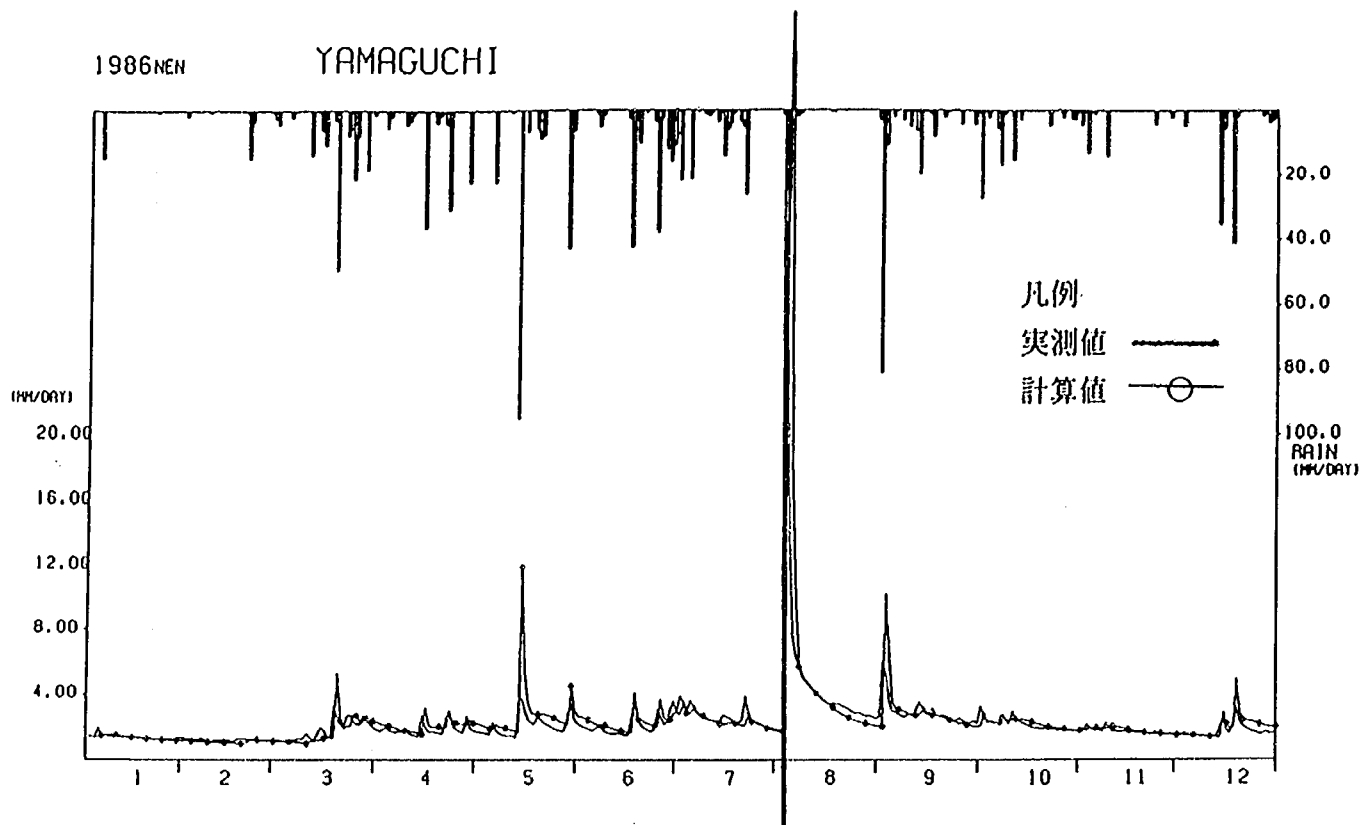


図 4.3 (7) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

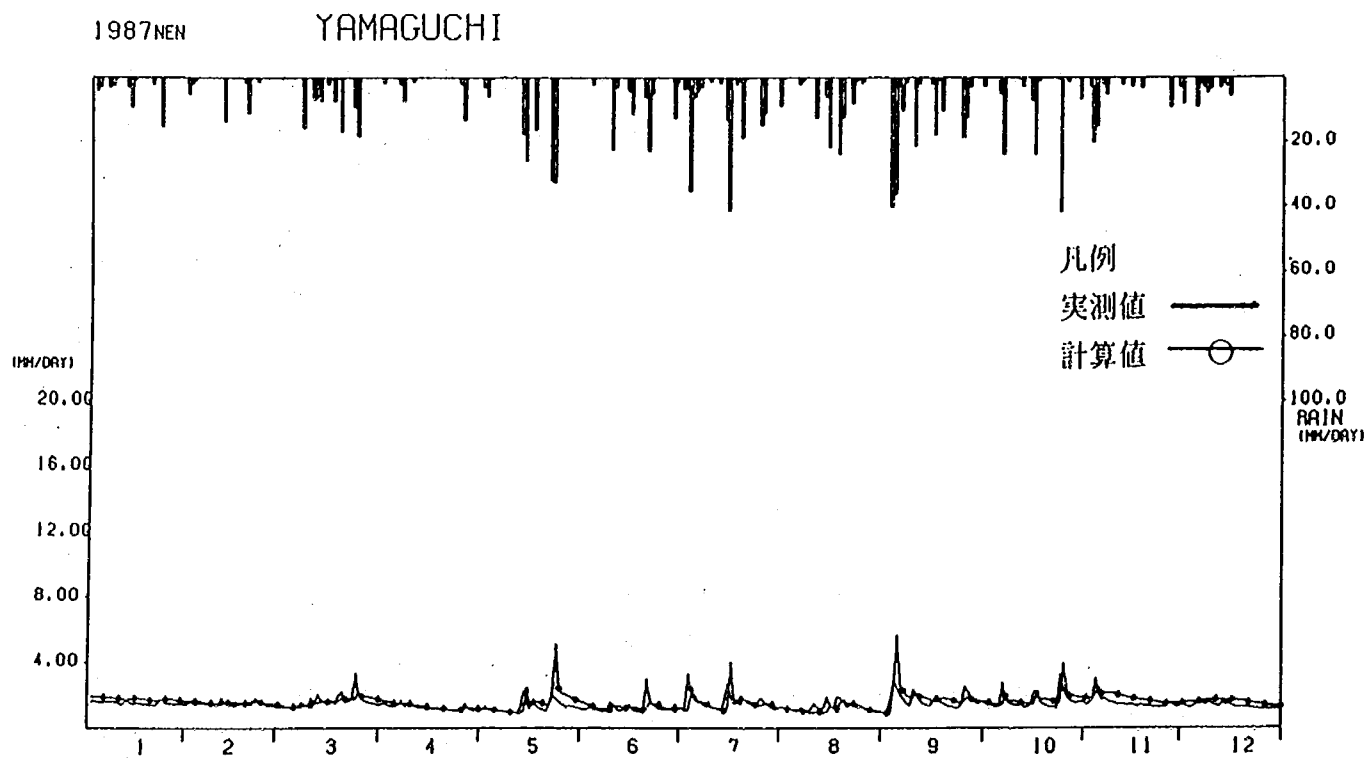


図 4.3 (8) 計算ハイドログラフ (ケース 1)

1988NEN

YAMAGUCHI

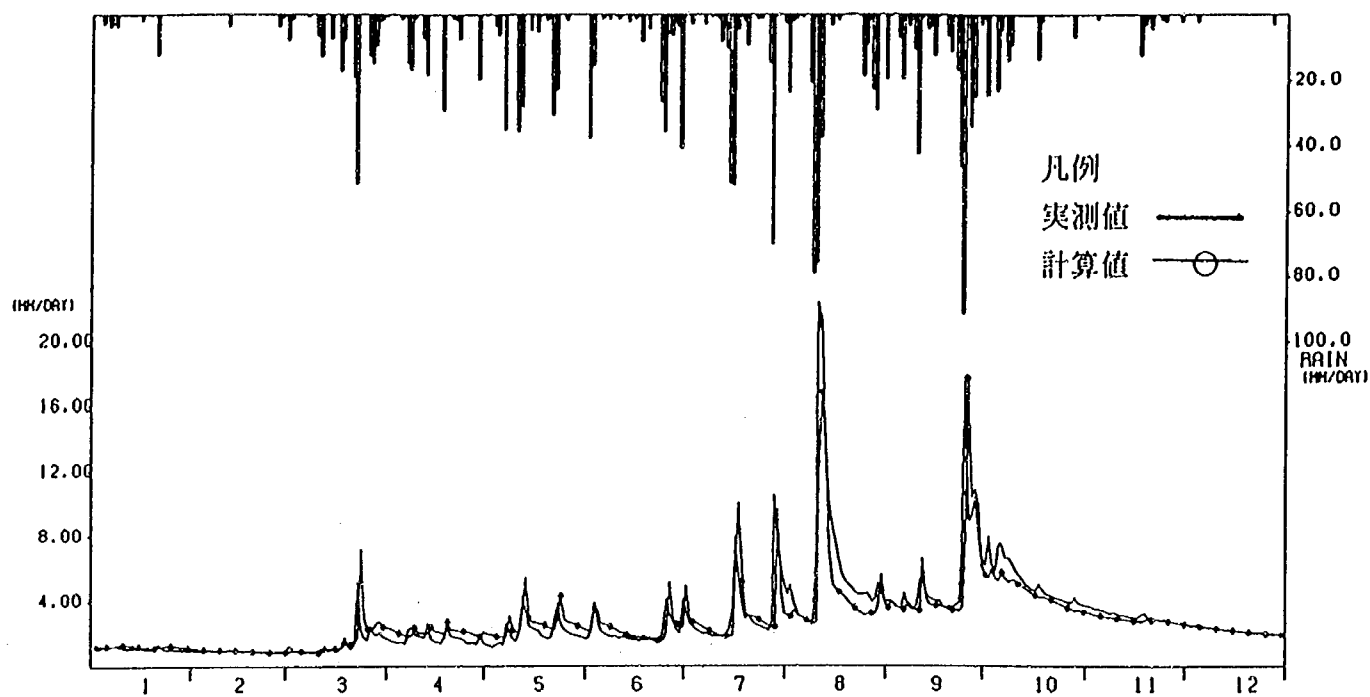


図4.3 (9) 計算ハイドログラフ (ケース1)

1980NEN

YAMAGUCHI

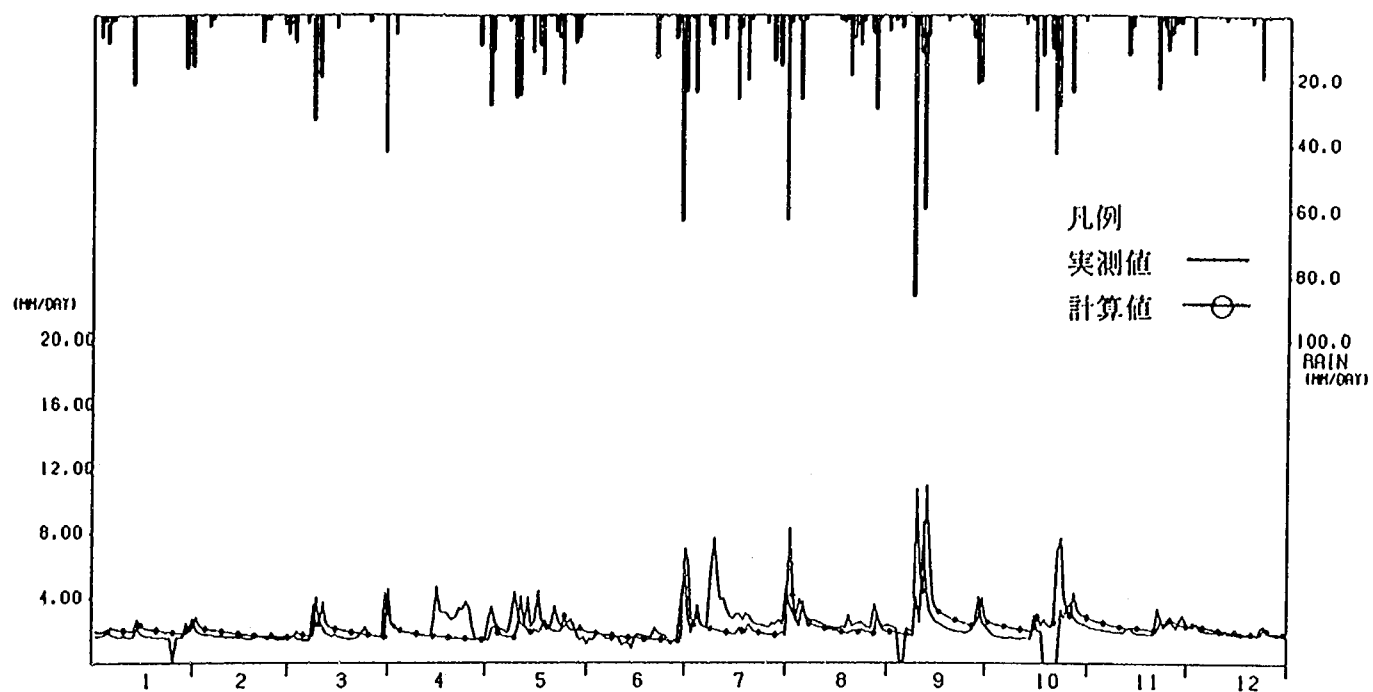


図 4.4 (1) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1981NEN

YAMAGUCHI

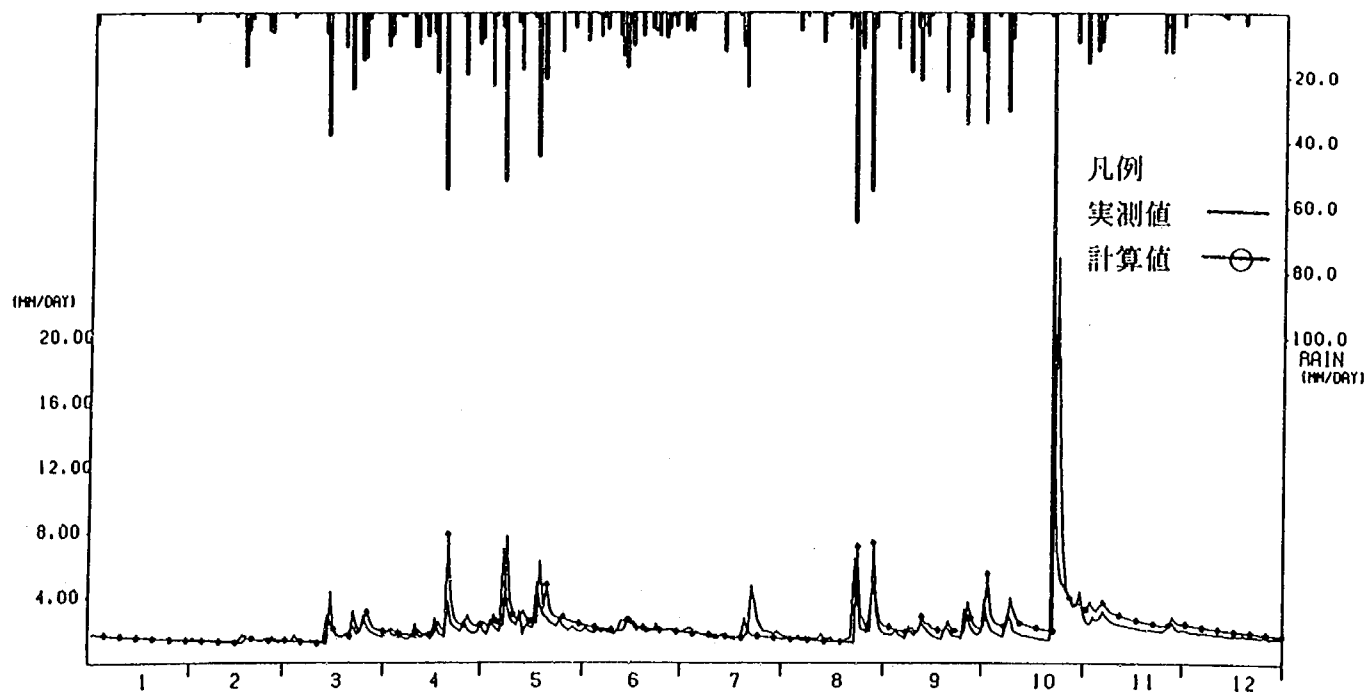


図 4.4 (2) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1982NEN

YAMAGUCHI

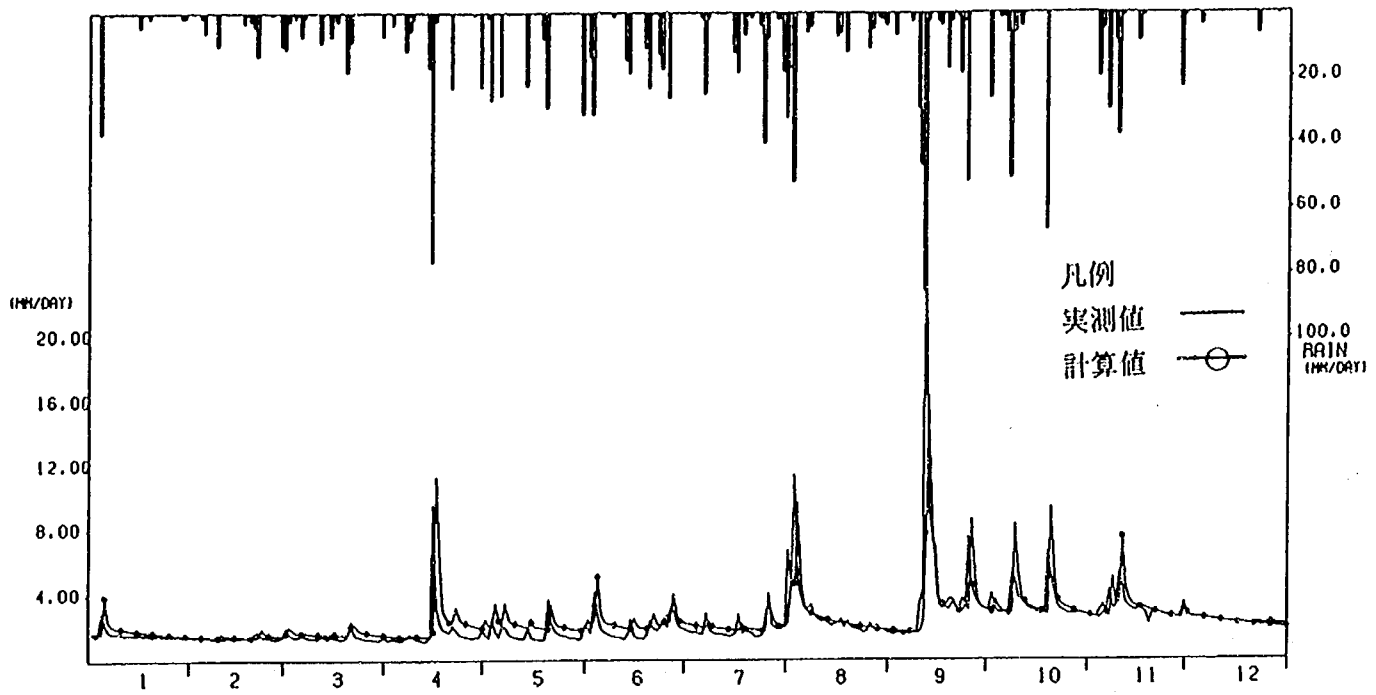


図 4.4 (3) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1983NEN

YAMAGUCHI

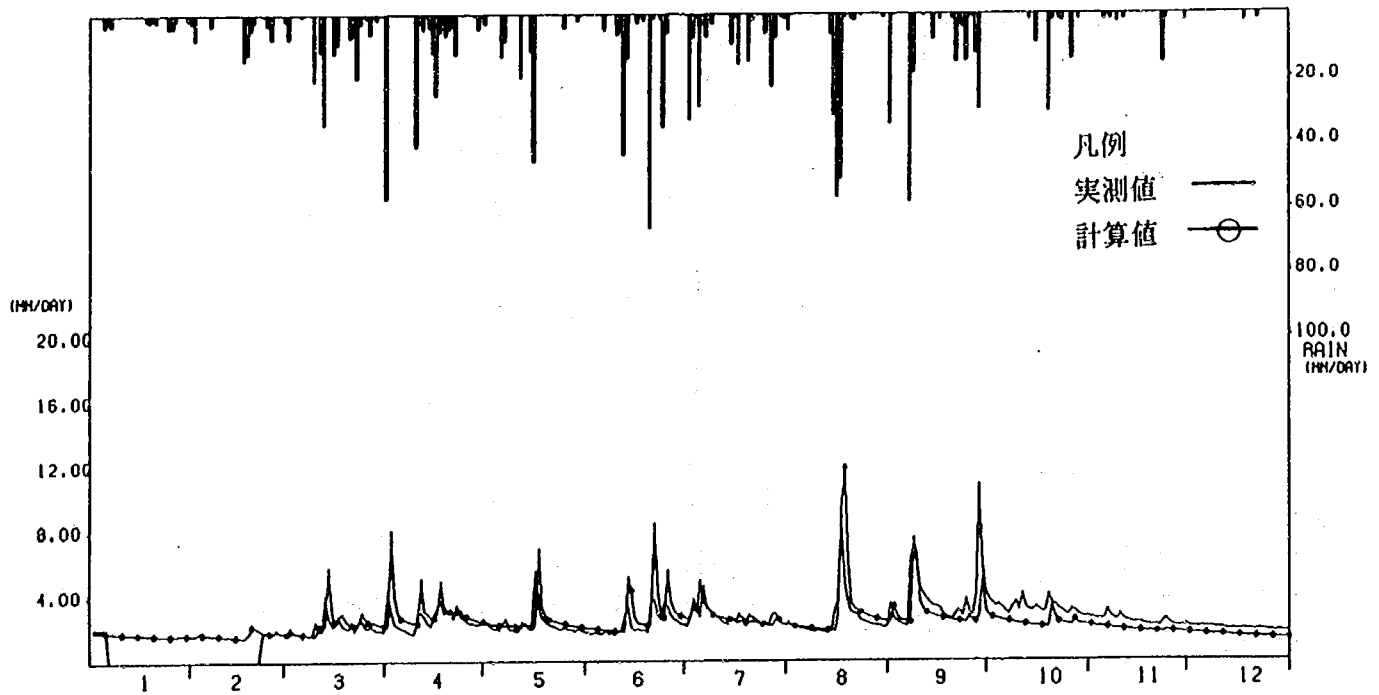


図 4.4 (4) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1984NEN

YAMAGUCHI

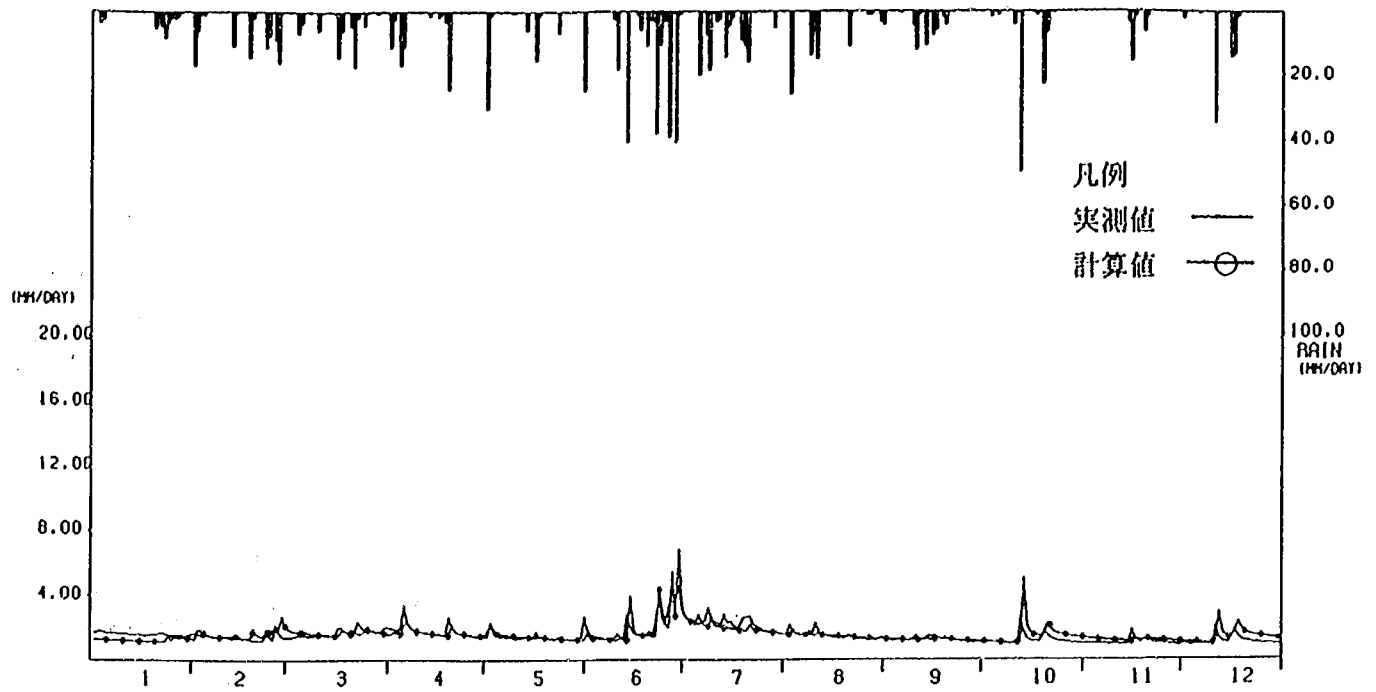


図 4.4 (5) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1985NEN

YAMAGUCHI

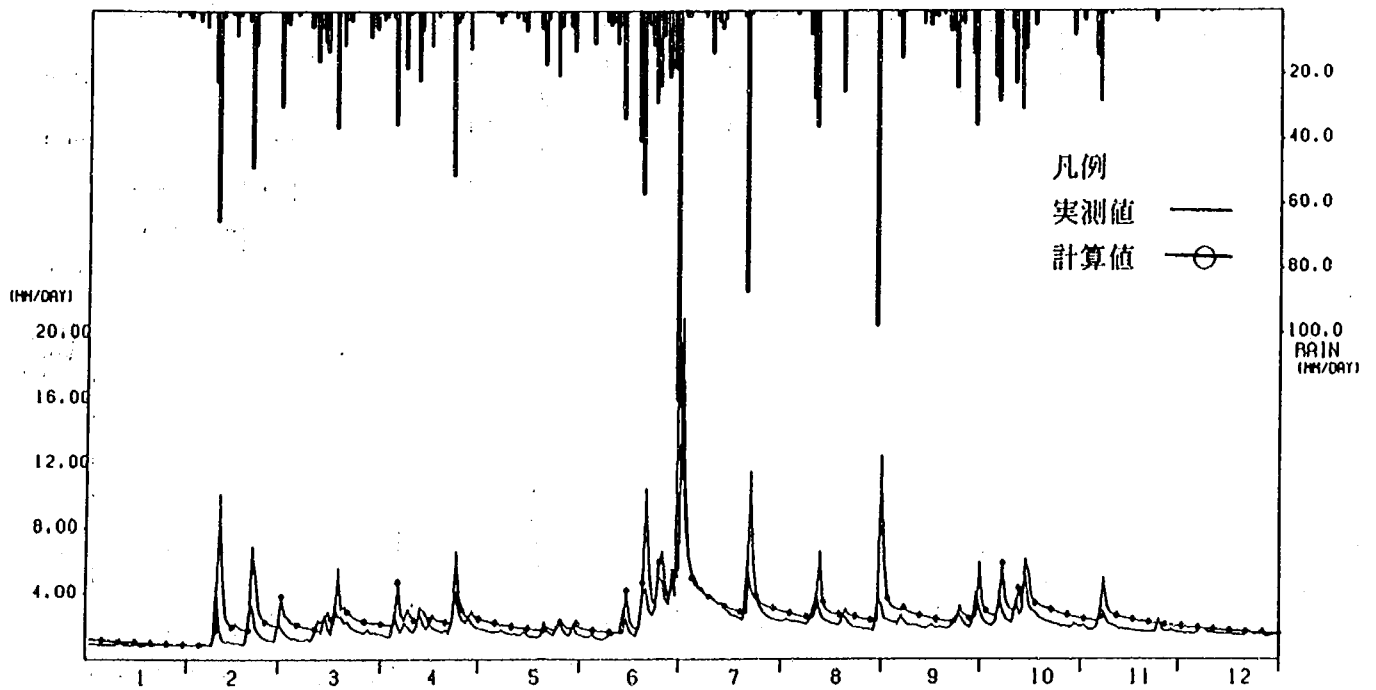


図 4.4 (6) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

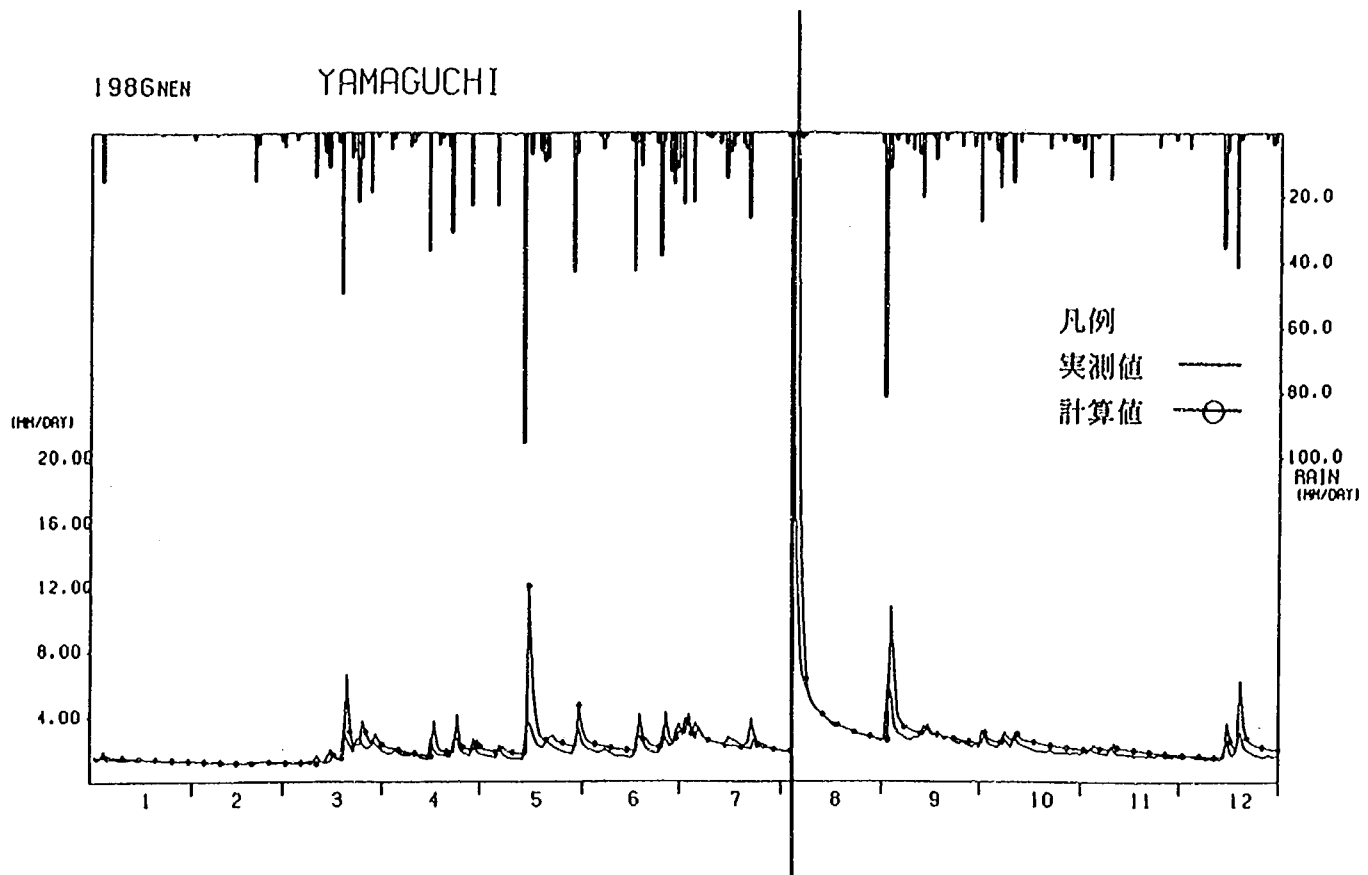


図 4.4 (7) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

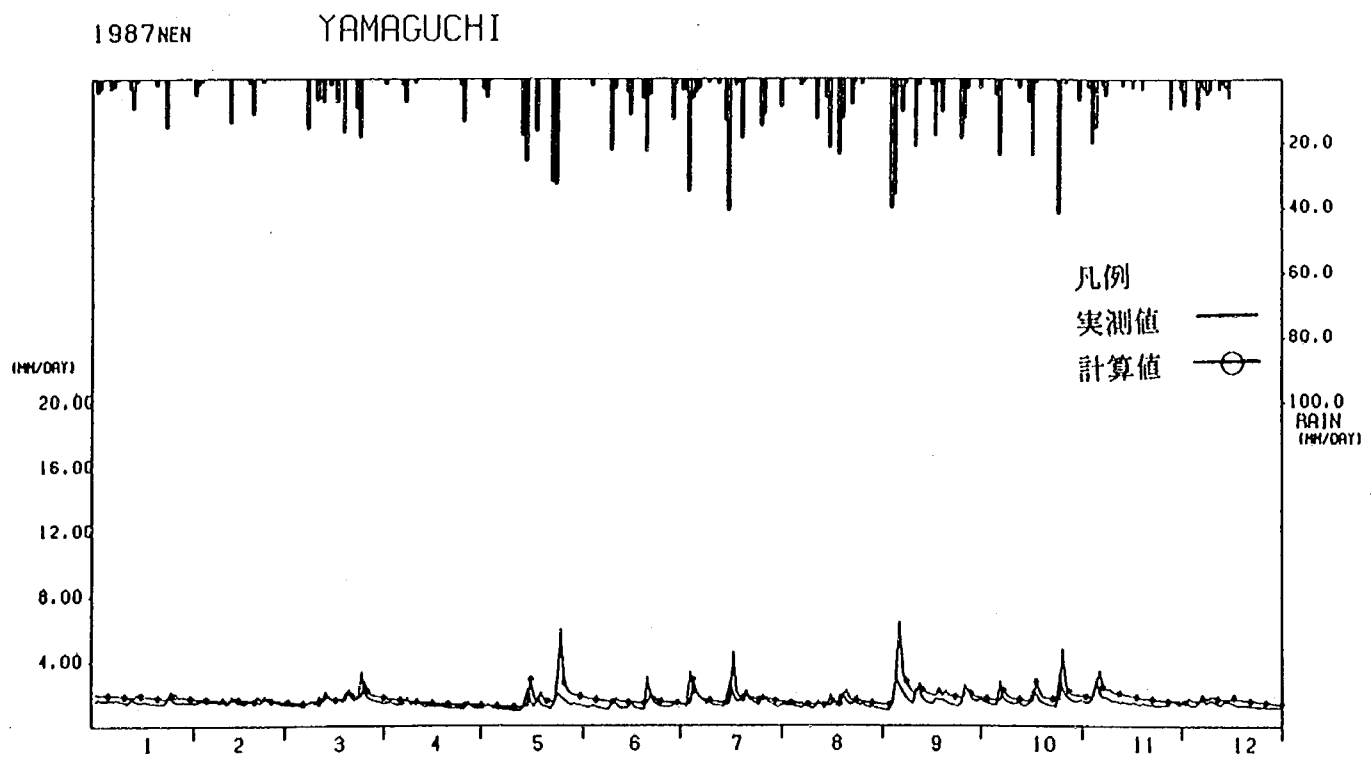


図 4.4 (8) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

1988NEN

YAMAGUCHI

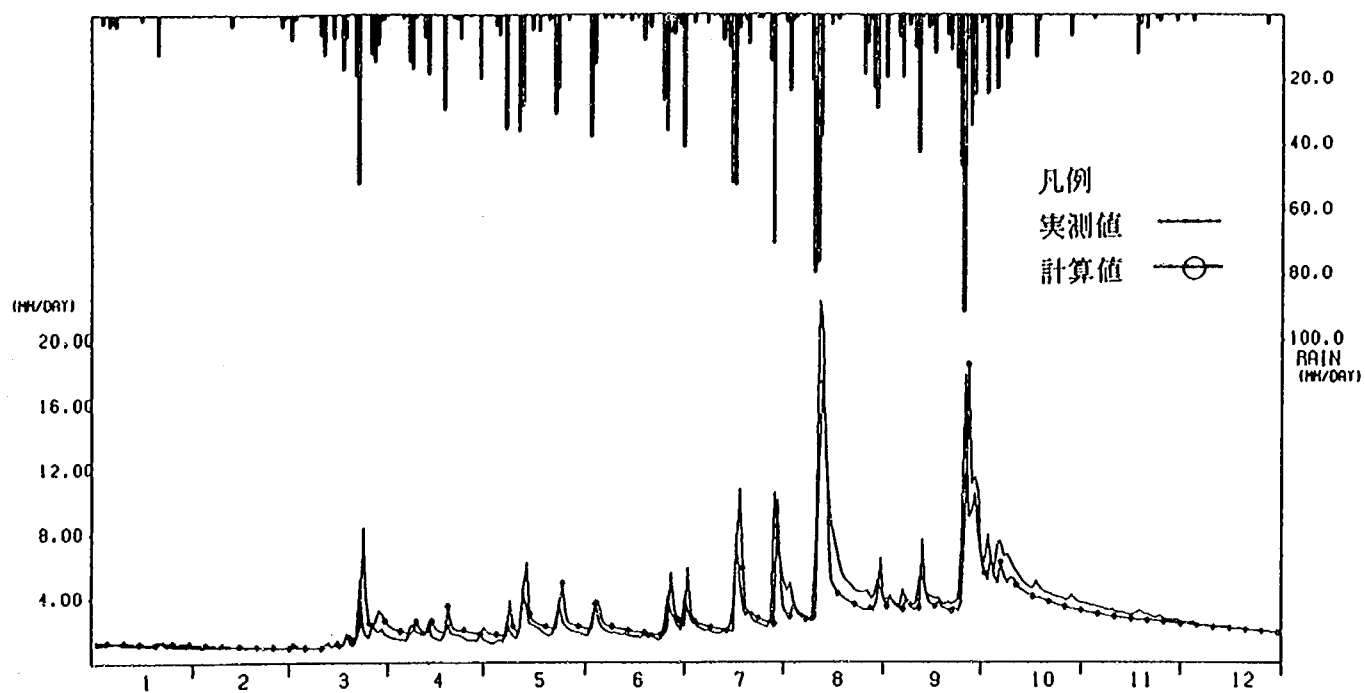


図 4.4 (9) 計算ハイドログラフ (ケース 2)

表 4.1 (1) 低水流量流出解析結果 (ケース 1)

		実 測 値			計 算 値			年 末 タ ン ク 水 位				相対誤差
		降雨量 (mm)	流出高 (mm)	損失高 (mm)	流出高 (mm)	損失高 (mm)	蒸発散高 (mm)	タンク 1 (mm)	タンク 2 (mm)	タンク 3 (mm)	タンク 4 (mm)	
定	1970	1118.4	660.6	457.8	625.2	493.2	616.1	5.1	5.2	95.8	171.1	0.223
数	1971	1461.3	861.6	599.7	770.3	690.9	602.0	9.9	25.4	120.0	220.8	0.186
同	1972	1417.8	920.8	479.0	840.6	577.2	618.5	1.4	32.5	77.0	224.0	0.139
定	1973	1189.2	620.9	568.3	637.7	551.4	622.4	0.0	0.0	80.3	183.5	0.200
期	1974	1492.4	837.0	655.4	798.8	693.6	603.0	7.2	7.3	101.2	238.2	0.142
間	1975	1631.0	814.2	816.8	888.3	742.7	614.6	0.0	3.1	220.9	258.8	0.239
	1976	1774.0	1147.8	626.2	1181.4	592.6	572.5	0.0	7.2	144.4	351.2	0.162
	1977	1542.0	985.2	556.8	1037.7	504.3	602.2	0.0	0.1	83.1	313.6	0.208
	1978	1007.4	-	-	585.6	421.8	603.3	0.1	8.5	81.6	133.2	-
	1979	1292.4	-	-	600.2	692.2	606.7	0.2	13.5	154.9	140.3	-
検	1980	1294.9	-	-	779.6	515.3	561.7	0.1	7.4	118.5	237.5	-
証	1981	1330.2	751.8	578.4	791.2	539.0	548.1	0.0	0.2	118.3	236.1	0.198
期	1982	1531.3	848.7	682.6	897.8	633.5	573.3	0.0	0.4	140.8	273.6	0.222
間	1983	1322.9	-	-	858.9	464.0	564.0	0.0	0.2	57.2	257.3	-
	1984	988.0	559.8	428.2	519.9	468.1	563.4	0.0	6.9	52.8	159.8	0.163
	1985	1626.0	786.9	831.1	927.5	698.5	584.9	0.0	0.0	80.3	252.7	0.281
	1986	1443.1	810.7	632.4	856.5	586.6	555.0	2.8	18.5	102.2	243.3	0.163
	1987	1070.4	530.7	539.7	574.3	496.1	588.3	0.0	0.4	88.6	185.6	0.172
	1988	1742.8	1064.2	678.6	1023.5	719.3	571.0	0.2	0.2	121.7	301.0	0.176

表 4.1 (2) 低水流量流出解析結果 (ケース 2)

		実 測 値			計 算 値			年 末 タ ン ク 水 位				相対誤差
		降雨量 (mm)	流出高 (mm)	損失高 (mm)	流出高 (mm)	損失高 (mm)	蒸発散高 (mm)	タンク 1 (mm)	タンク 2 (mm)	タンク 3 (mm)	タンク 4 (mm)	
定	1970	1118.4	660.6	457.8	696.1	422.3	494.4	13.5	3.7	102.6	208.0	0.163
数	1971	1461.3	861.6	599.7	849.9	611.4	533.0	18.1	19.2	130.8	248.2	0.154
同	1972	1417.8	920.8	497.0	888.3	529.5	583.3	11.0	28.7	81.7	241.0	0.131
定	1973	1189.2	620.9	568.3	723.8	465.4	508.8	0.5	0.2	99.0	219.0	0.259
期	1974	1492.4	837.0	655.4	836.7	655.7	607.1	15.6	6.4	95.7	249.6	0.142
間	1975	1631.0	814.2	816.8	945.1	685.9	554.3	4.2	5.3	215.3	274.6	0.262
	1976	1774.0	1147.8	626.2	1170.6	603.4	617.5	9.3	3.9	134.6	337.5	0.163
	1977	1542.0	985.2	556.8	1050.1	481.9	551.9	4.7	0.5	97.0	315.0	0.188
	1978	1007.4	-	-	684.5	322.9	434.1	8.9	7.6	77.8	219.7	-
	1979	1292.4	-	-	745.4	547.0	468.4	9.3	11.5	153.4	218.5	-
検	1980	1294.9	-	-	821.7	473.2	506.2	8.8	6.2	115.2	246.8	-
証	1981	1330.2	751.8	578.4	822.1	508.1	512.9	4.7	0.4	120.3	246.8	0.196
期	1982	1531.3	848.7	682.6	906.7	624.6	585.8	6.2	0.6	134.6	269.8	0.222
間	1983	1322.9	-	-	870.2	452.7	537.8	4.2	0.1	64.0	257.9	-
	1984	988.0	559.8	428.2	566.8	421.2	487.0	6.3	7.7	65.6	181.2	0.170
	1985	1626.0	786.9	831.1	989.7	636.3	534.5	0.8	0.1	94.8	266.9	0.343
	1986	1443.1	810.7	632.4	918.1	525.0	489.6	12.4	15.8	106.9	263.1	0.183
	1987	1070.4	530.7	539.7	622.4	448.0	550.8	4.9	2.8	85.1	202.1	0.233
	1988	1742.8	1064.2	678.6	1033.1	709.7	583.3	3.6	0.1	122.6	295.8	0.195

4・2 洪水流量解析

洪水時の流出特性について貯留関数法及び、等価粗度法の二つの流出モデルを用いて解析を行った。

4・2・1 モデルの概要

1) 貯留関数法

流出現象の非線型特性を表すために降雨－流出の変換過程に流域貯留の過程を導入し、これを媒介関数として貯留量～流出量の関係を図数式で表し、貯留量の水収支を計算しこれらから流出ハイドログラフを求めようとする計算手法である。

貯留関数は洪水流出が表面流出であるとして、Manningの流れの式から流域または河道の貯留高 S をその流出高 Q との間に式4.2の関係を設定し、運動方程式とする。

$$S = K Q^p \quad (K, p: \text{定数}) \quad \dots\dots\dots \text{式4.2}$$

すなわち、流出量が貯留量の p 乗に比例するとしているわけで、これは降雨流出現象を容器に貯えられた水の、切り欠きからの流出現象に類似した流出現象と考えていることに相当する。この運動方程式と式4.3の連続方程式を組み合わせる流出計算を行う。

$$\frac{dS}{dt} = R - Q \quad \dots\dots\dots \text{式4.3}$$

R : 有効降雨量 (mm/h)

$Q(t) = Q(t + T_1)$: 遅滞時間を考慮した流域からの直接流出高 (mm/h)

S : みかけの流域貯留量 (mm)

T_1 : 遅滞時間 (h)

式4.2の貯留高 S と流出高 Q との関係は既存の洪水流出資料を用いて容易に求められる。一般に流出ハイドログラフの増水部と遅減部では S と Q との関係は異なるが、遅滞時間 T_1 を導入してこれを一価関数に近似できるように修正してしまうところに貯留関数法の特色がある。

2) 等価粗度法

等価粗度法とは流域を幾つかの矩形斜面と流路が組み合わさったものと見なし、これらの斜面や流路における雨水流下現象を、水流の運動法則と連続の関係をj用いて水理学的に追跡するものである。

山腹斜面に降った降雨は一部は浸透し、一部は地表面を流れて小さな流路から大きな流路へと集められていく。この過程を示したものが図4.5である。計算は斜面からの有効降雨による斜面流出 q を求め、これを横流入とする河道内の流量の計算を行う。

まず、台形水路からの流出を、開水路の平均流速の算出方法であるManningの式を用いて表してみると式4.4のようになる。

$$Q = A v = A R^{2/3} i^{1/2} / N \quad \dots\dots\dots \text{式4.4}$$

Q : 流量 A : 流水断面積 R : 径深

i : 水路勾配 N : Manningの粗度係数

この時の、径深 R と流水断面積 A との関係が係数 K_1 、 Z を用いて式4.5のように表されると仮定すると

$$R = K_1 A^Z \quad \dots\dots\dots \text{式4.5}$$

式4.4は、式4.6のように書き換えられる。

$$A = K Q^p \quad \dots\dots\dots \text{式4.6}$$

ここに

$$p = 3 / (2Z + 3) \dots\dots\dots \text{式4.7}$$

$$K = \{ (N / \sqrt{\sin \theta}) K_1^{-2/3} \}^p \dots\dots\dots \text{式4.8}$$

θ : 流路勾配

このようにして求めた式4.6を運動方程式とし連続式に式4.9を用いて河道部をモデル化し流出計算を行う。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(t) \dots\dots\dots \text{式4.9}$$

$q(t)$: 横からの流入量

同様にして斜面部について求めた運動方程式、連続方程式を式4.10、式4.13に示す。

$$h = K' q'^p \dots\dots\dots \text{式4.10}$$

ここに

$$p' = 3 / 5 \dots\dots\dots \text{式4.11}$$

$$K' = (N / \sqrt{\sin \theta})^p \dots\dots\dots \text{式4.12}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \alpha re(t) \dots\dots\dots \text{式4.13}$$

h : 水深 q : 単位幅流量 α : 単位変換係数 re : 有効降雨

θ 斜面勾配

実際の計算にあたっては、流域を斜面と流路にわけて各分割要素ごとにパラメータを定める必要がある。斜面のManningの粗度係数に相当するNの値は、流域をモデル化するため本来の粗度とは全く違う値となる。このため、Nをその区分流域の等価粗度係数とよんでいる。N値と流域の土地利用との関係を表4.2に示す。

4. 2. 2 貯留関数法による解析

1) 解析方法

解析は山口川流域、祖父ヶ峰流域について行い、計算条件を以下の様に設定した。

- ・ 流域モデル 単流域
- ・ 有効降雨 一定率損出法（水平分離法による流出率）
- ・ 計算時間間隔 10分
- ・ 遅れ時間 ハイドログラフより算出

流域貯留量と流出高との関係は流域によって異なり、この関係を示す定数K、pを決定することが貯留関数法による流出計算の中心課題とされている。

最適な定数の算出方法は、まず下記に示す五つの誤差評価関数を設定し、個々の誤差評価関数について誤差が最小となる定数を算出する。次に、これらの計算結果のハイドログラフの中から一番適合度の良いものを目視によって抽出し、最適な係数とした。

① ピーク誤差

$$E = \frac{|Q_{op} - Q_{cp}|}{Q_{op}} \dots\dots\dots \text{式4.14}$$

② ピーク平方誤差

$$E = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{|Q_{oi} - Q_{ci}|}{Q_{op}} \right\}^2 / n \dots\dots\dots \text{式4.15}$$

③ 相対誤差

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{|Q_{oi} - Q_{ci}|}{Q_{oi}} / n \dots\dots\dots \text{式4.16}$$

④ 相対二乗誤差

$$E = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{|Q_{oi} - Q_{ci}|}{Q_{oi}} \right\}^2 / n \dots\dots\dots \text{式4.17}$$

⑤ カイ二乗誤差

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_{oi} - Q_{ci})^2}{Q_{oi}} / n \dots\dots\dots \text{式4.18}$$

Q_{oi} : 実測流出高 Q_{ci} : 計算流出高 Q_{op} : 実測ピーク流出高 Q_{cp} : 計算ピーク流出高
 n : 時間ステップ数

ピーク相対誤差、相対誤差、相対二乗誤差、カイ二乗誤差を用いた場合、洪水の観測期間全体を評価対象とすると相対的に洪水の運減部が重視され、洪水ピーク付近の適合度が悪くなる傾向がある。そこで、評価区間を洪水毎に設定し解析を行った(図4.6)。

2) 解析結果

最適定数の一覧表を表4.3～4.4に、計算ハイドログラフの例を図4.7～4.8に示す。

(1) K, p の頻度分布

山口、祖父ヶ峰におけるp値の頻度分布を図4.9に示す。山口のp値のほとんどは0.4～0.6の間に集中している。祖父ヶ峰でも同様の傾向にある。p値の平均は山口、祖父ヶ峰ともに0.49であった。

K値の頻度分布図を図4.10に示す。山口、祖父ヶ峰とも広範囲にわたって分布しており目立った値の集中は無い。分布範囲は山口、祖父ヶ峰とも概ね1.0～6.0で平均値は山口で3.8、祖父ヶ峰で3.1であった。

全国流出試験地における定数の計算結果を表4.5に示す。p値は自然流域の平均値0.51にほぼ等しい。K値は自然流域としては小さすぎる値であり、むしろ市街化流域の値に近いものとなっている。この原因としては、本流域は流出率が0.1前後と小さく降雨は土壤に浸透し短期間に流出しないものがほとんどであるが、これら浸透流以外の河道に到達する流出成分は、早い流出形態をとっているためと考えられる。

表4. 5 全国流出試験地 K, p 算定結果

流域状態	K 値分布範囲	平均 K 値	平均 p 値
自然流域	5.2～35.8	18.3	0.51
開発途上流域	2.6～18.2	7.4	0.71
市街化流域	0.2～ 7.6	2.3	0.64

(2) 降雨因子と K, p

降雨に関する指標と K, p との関係を調べた。対象とした指標は総降雨量と降雨波形である。

①総降雨量と K, p

総降雨量と K 値の関係を図4.11に示す。図より総降雨量の増加に伴い K 値が増加しているのが分かる。また、相関も高い。

総降雨量と p 値の関係を図4.12に示す。総降雨量と p 値の相関は悪く、総降雨量の変化は p 値に影響を与えない様である。

②降雨波形パターンと K

降雨波形パターンと K 値との関係について調べた。波形パターンの分類は以下に示す 2 パターンとした。

- ・ 弱雨が長く続く場合…… 降雨強度2.5mm/10m以下の降雨が12時間以上継続するもの
- ・ 短期間に集中した場合…… 降雨強度7.5mm/10m以上の降雨が短時間に集中したもの

図4.13に降雨波形パターンと K 値の関係を示す。降雨波形パターンの違いによる K 値への影響は見い出せず、降雨パターンの違いによる K 値の変動は無いと思われる。

図4.14に降雨パターンと P 値の関係をしめす。K 値同様、相関はあまりない。

(3) P 値を一定とした時の K 値と総降雨量

P 値は総降雨量、降雨パターン等の影響を受けないこと、P 値はある一定の値に集中することなどから流域固有の定数と考えることができる。そこで、P 値を固定定数とし K 値の再算出を行った。

固定した P 値の値は、図4.9より p 値が0.5付近に集中していること、平均値が0.49であることから、 $p = 0.5$ とした。表4.3～4.4に $p = 0.5$ の時のピーク平方誤差が最小となる K 値を示す。

図4.15に p 値を0.5に固定したときの K 値と総降雨量との関係を示す。個別に K, p を算出したときと相関はほとんど変わらない結果がえられた。

(4) 山口の K 値と祖父ヶ峰の K 値

図4.16に p 値を0.5に固定したときの山口と祖父ヶ峰の K 値の関係を示す。祖父ヶ峰の値は山口より小さな値を示す。流域の地質、降雨条件が両流域ともに同一であることから流域面積の相違によるためと考えられる。

3) 考察

以上の解析結果をまとめると以下のとおりである。

- ・ 裏筑波試験地の p 値はほとんどが0.5付近である。
- ・ p 値は総降雨量に影響を受けない。

- ・ p 値は降雨波形の相違により変動をしない。
- ・ P 値を流域固有の定数とし、裏筑波流域では $p = 0.5$ で計算しても良好な適合結果が得られる。
- ・ 裏筑波試験地の K 値は $1.0 \sim 6.0$ で自然流域としては非常に小さい値である。
- ・ K 値は総降雨量の増加にともない増加する。
- ・ K 値は降雨波形の相違により変動をしない。
- ・ 祖父ヶ峰の K 値は山口の K 値と比べ小さく、流域面積の相違によるものと考えられる。

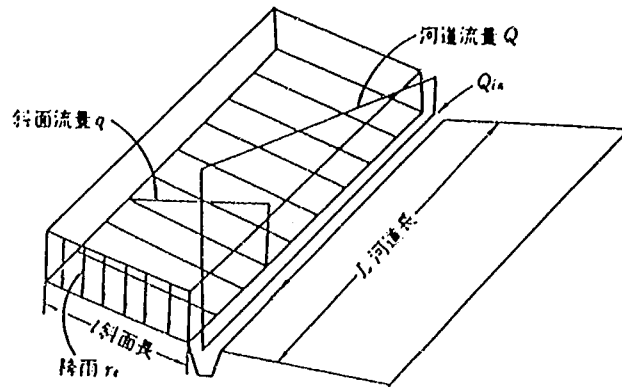


図 4.5 等価粗度法の流域モデル

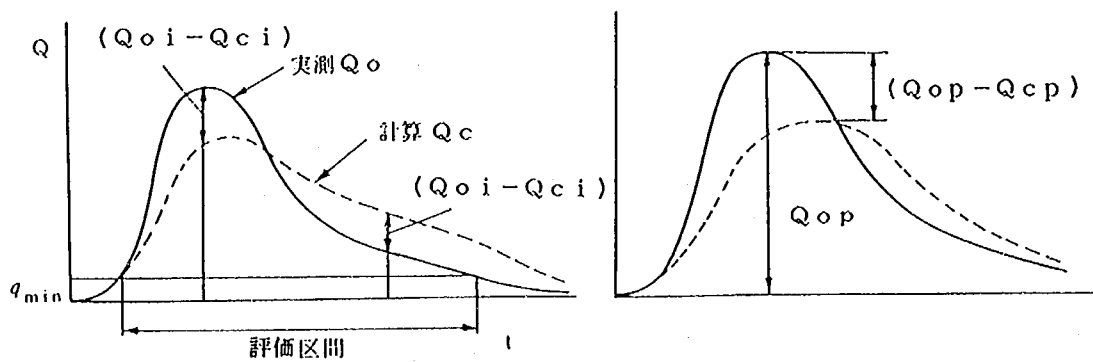


図 4.6 評価指標の説明図

表 4.2 等 価 粗 度

土 木 研 究 所			角 屋 ら	
土 地 利 用 形 態		等価粗度 N の標準値	土 地 利 用 形 態	等価粗度 N の標準値
水	田	2	山	0.6 ~ 1.2
山	林	0.7	放牧地, ゴルフ場, 畑地	0.3 ~ 0.5
丘陵, 放牧地, 公園, ゴルフ場, 畑地		0.3	舗装率の高い市街地	0.01 ~ 0.05
市	街	0.03	水	2 ~ 3
市街化度による細分類	区画割, 道路整備ができるが, 相当裸地面積が残る。排水路整備済み。(1°)	0.1		
	道路舗装がかなりすすむ。下水路整備不十分。(2°)	0.05		
	舗装されるべき面積の50%以上が舗装され, 下水路整備もほぼ十分。(3°)	0.01		
	舗装されるべきの面積の舗装。下水路整備完了。(4°)	0.005		

表 4.3 (1) 貯留関数法最適パラメータ (山口)

洪水 N O	発 起 年 月 日	総 雨 量	K	p	T l	K (p=0.5)
44-08	S44. 8.23	51.0	2.2	0.5	50	3.2
-09	9. 2	32.0	1.9	0.4	40	2.7
-14	10.25	67.5	4.2	0.6	40	4.5
45-01	S45. 1.30	36.1	1.8	0.5	60	2.7
-03	5.16	57.2	3.5	0.5	0	3.5
-07	6.19	40.0	5.0	0.6	0	4.7
-13	11.19	141.4	6.1	0.6	0	6.2
46-02	S46. 4.29	96.2	6.8	0.5	10	7.0
-05	8.16	34.7	2.2	0.5	30	2.7
-06	8.30	161.0	5.7	0.5	0	5.7
-08	9.26	75.6	4.5	0.5	0	4.5
47-01	S47. 1.11	99.9	6.5	0.6	100	7.7
-04	2.26	46.5	2.5	0.5	70	3.7
-12	6. 9	34.4	2.4	0.4	40	3.3
-13	7.14	43.8	3.0	0.6	0	5.3
-18	9.12	18.5	2.4	0.3	30	3.5
48-02	4.12	50.3	2.6	0.4	30	3.0
-10	8. 4	101.0	3.3	0.4	30	4.2
-11	8. 6	43.4	2.6	0.4	40	3.7
-19	11.10	62.2	4.3	0.5	20	4.8
49-03	S49. 6.13	47.2	3.1	0.4	20	3.7
50-02	S50. 4.21	50.5	3.1	0.4	10	3.3
-04	6. 7	36.4	2.2	0.4	0	2.3
-07	7.21	36.4	1.7	0.5	20	1.8
-12	11.15	0.0	3.8	0.5	20	4.3
51-07	S51. 7.18	15.3	1.6	0.6	20	1.2
-11	10. 9	31.8	4.1	0.3	100	6.0
52-03	S52. 5.15	102.9	6.5	0.5	0	6.5
-04	6.14	25.0	1.2	0.4	30	1.7
-07	7. 6	63.9	3.1	0.6	0	3.0
-11	8.13	70.3	2.5	0.5	60	3.5
54-01	S54. 5. 8	54.9	6.5	0.5	20	3.2
-02	5.14	91.0	1.2	0.4	0	6.2
-04	8.24	39.5	3.1	0.6	40	2.3
-07	10. 6	36.5	2.5	0.5	50	5.0
-08	10.11	34.5	2.8	0.5	40	3.8
-09	10.18	8.5	5.7	0.6	190	10.3
55-02	S55. 3.29	28.0	1.7	0.5	0	3.2
-05	8.19	22.9	4.3	0.4	30	1.0
-06	9. 8	30.6	3.3	0.5	30	2.3
-07	9. 9	66.6	5.3	0.5	10	7.8

注) K (p=0.5) の値は、pを0.5に固定したときの σ^2 -平方誤差が最小となるK値

表 4.3 (2) 貯留関数法最適パラメータ (山口)

洪水 N O	発 起 年 月 日	総 雨 量	K	p	T l	K (p=0.5)
56-02	S56. 5. 7	45.9	3.1	0.4	30	4.8
-03	5.17	29.4	3.1	0.4	10	3.5
-04	7.19	18.5	1.7	0.5	10	1.8
-05	7.22	42.0	2.6	0.4	0	2.8
-07	8.28	36.5	2.6	0.6	0	3.7
57-02	S57. 4.14	60.0	2.6	0.6	20	4.2
-11	7.31	30.1	2.8	0.5	20	3.3
-12	8.21	78.2	5.7	0.6	10	5.7
-15	9.11	0.0	5.5	0.4	0	4.5
58-02	S58.03.13	44.2	3.6	0.5	50	3.7
-03	04.01	52.6	4.3	0.6	0	4.0
-09	06.12	56.0	2.3	0.5	30	2.3
-10	06.20	65.6	4.2	0.4	0	4.3
-14	09.01	41.3	1.7	0.4	10	1.7
-15	09.07	56.3	6.5	0.2	0	5.5
59-06	S59.06.13	40.8	2.3	0.5	60	2.3
-07	06.22	49.3	5.7	0.7	0	4.5
-08	06.26	40.8	6.0	0.8	60	3.4
-09	06.29	45.1	4.2	0.5	30	3.9
-10	07.05	14.7	1.2	0.4	10	1.3
60-07	S60.04.22	59.7	3.5	0.5	40	3.5
-10	06.30	124.0	6.8	0.6	0	7.1
-11	07.21	90.2	4.3	0.4	0	3.9
-12	08.10	32.2	1.3	0.6	30	1.1
-15	08.30	94.0	4.1	0.6	20	4.0
-19	10.14	43.8	4.7	0.8	50	3.5
61-01	S61.03.19	49.9	2.8	0.4	30	2.8
-04	05.14	89.0	4.6	0.6	0	4.7
-08	06.25	37.2	2.7	0.5	10	2.7
-10	08.03	300.0	14.6	0.4	0	12.5
-13	12.14	38.0	1.7	0.4	40	1.8
62-04	S62.07.03	41.2	3.1	0.5	30	3.1
-05	07.15	42.6	2.1	0.5	50	2.1
-09	09.25	23.4	1.5	0.5	30	1.5
63-01	S63.03.22	58.8	5.0	0.5	30	5.0
-02	05.12	66.5	5.4	0.5	0	5.4
-06	07.28	69.5	8.0	0.6	0	8.0
-08	08.11	142.0	8.9	0.4	10	8.2
-11	09.25	110.6	6.8	0.4	10	6.0

注) K (p=0.5) の値は、pを0.5に固定したときのピーク平方誤差が最小となるK値

表4.4 (1) 貯留関数法最適パラメータ (祖父ヶ峰)

洪水 N O	発起年月日	総雨量	K	p	T l	K (p=0.5)
44-14	S44.10.25	66.0	3.4	0.6	0	3.0
45- 3	S45. 5.16	55.1	3.0	0.5	0	3.0
- 7	6.19	37.5	4.9	0.7	0	3.7
46- 2	S46. 4.22	105.7	4.3	0.4	20	4.2
- 5	8.16	34.7	1.5	0.6	0	1.3
- 6	8.30	160.0	4.5	0.4	0	4.2
- 8	9.26	77.1	3.8	0.5	0	3.8
47- 1	S47. 1.11	102.3	4.8	0.7	0	5.5
- 4	2.26	46.5	2.2	0.7	30	2.0
-12	6. 9	34.4	1.3	0.6	0	1.2
48- 2	S48. 4.12	50.3	2.2	0.4	0	2.3
-19	11.10	65.5	3.3	0.5	0	3.3
49- 6	S49. 8.31	99.1	3.1	0.4	0	3.2
50- 2	S50. 4.21	44.2	2.1	0.3	0	2.3
- 4	6. 7	28.0	1.8	0.5	0	1.8
- 6	7. 3	97.0	5.1	0.6	20	5.0
- 7	7.21	36.4	1.2	0.4	20	1.3
51- 7	7.18	15.3	4.6	0.7	0	4.0
-11	S51.10. 9	37.6	4.1	0.3	0	4.5
52- 4	6.14	25.0	1.3	0.6	0	1.2
- 7	7. 6	63.7	2.2	0.5	0	2.2
-11	8.13	59.6	3.3	0.6	0	3.0
54- 1	S54. 5. 8	50.9	3.7	0.5	0	4.2
- 2	5.14	0.0	4.5	0.5	0	4.5
- 4	8.24	39.5	0.7	0.7	10	10.7
- 9	10.18	46.0	2.7	0.7	0	3.0
55- 5	8.19	22.6	1.0	0.4	0	1.2
- 6	9. 8	30.6	1.0	0.3	0	1.3
- 7	9. 9	56.0	2.1	0.3	0	1.8
56- 2	S56. 5. 7	33.4	1.5	0.2	10	2.7
- 3	5.17	29.4	2.2	0.4	0	2.3
- 7	8.28	36.0	1.5	0.2	0	1.7
57- 2	S57. 4.14	60.0	2.9	0.4	10	2.8
-11	7.31	32.9	1.3	0.5	10	2.0
-12	8.21	75.4	6.3	0.6	10	5.8
-15	9.11	118.3	4.4	0.3	0	4.0
58-02	S58. 3.13	44.2	3.1	0.6	0	2.6
-03	4.01	52.6	2.9	0.5	0	2.8
-09	6.12	56.0	1.7	0.4	0	1.9
-10	6.20	65.6	2.7	0.4	10	2.9
-14	9.01	41.3	1.1	0.4	0	1.2
-15	9.07	56.3	2.1	0.3	0	1.8

注) K (p=0.5) の値は、pを0.5に固定したときの σ^2 平方誤差が最小となるK値

表 4.4 (2) 貯留関数法最適パラメータ (祖父ヶ峰)

洪水 N O	発 起 年 月 日	総 雨 量	K	p	T l	K (p=0.5)
59-06	S59.06.13	40.8	1.8	0.5	0	1.8
-07	6.22	49.3	3.8	0.6	0	3.1
-08	6.26	40.8	3.6	0.6	0	2.9
-09	6.29	45.1	5.6	0.8	0	3.4
-10	7.05	14.7	0.8	0.5	0	0.8
60-07	S60.04.22	59.7	3.3	0.4	0	3.4
-10	6.30	124.0	6.2	0.7	0	6.1
-11	7.21	90.2	2.8	0.4	0	2.5
-12	8.10	32.2	1.0	0.8	0	1.0
-15	8.30	94.0	2.6	0.4	0	2.4
-19	10.14	43.8	3.7	0.6	0	3.0
61-01	S61.03.19	49.9	2.4	0.4	0	2.5
-04	5.14	89.0	4.2	0.5	0	4.5
-08	6.25	37.2	1.7	0.5	0	1.6
-10	8.03	300.0	2.9	0.4	0	11.2
-13	12.14	38.0	2.1	0.5	0	2.1
62-04	S62.07.03	41.2	2.0	0.4	0	2.4
-05	7.15	42.6	1.8	0.4	0	1.8
-09	9.25	23.4	1.2	0.5	10	1.2
63-01	S63. 3.22	58.8	4.0	0.4	0	4.4
-02	5.12	66.5	4.2	0.4	0	4.7
-06	7.28	69.5	4.1	0.6	0	4.2
-08	8.11	142.0	3.9	0.5	0	4.0
-11	9.25	110.6	7.5	0.4	0	6.8

注) K (p=0.5) の値は、pを0.5に固定したときのピーク平方誤差が最小となるK値

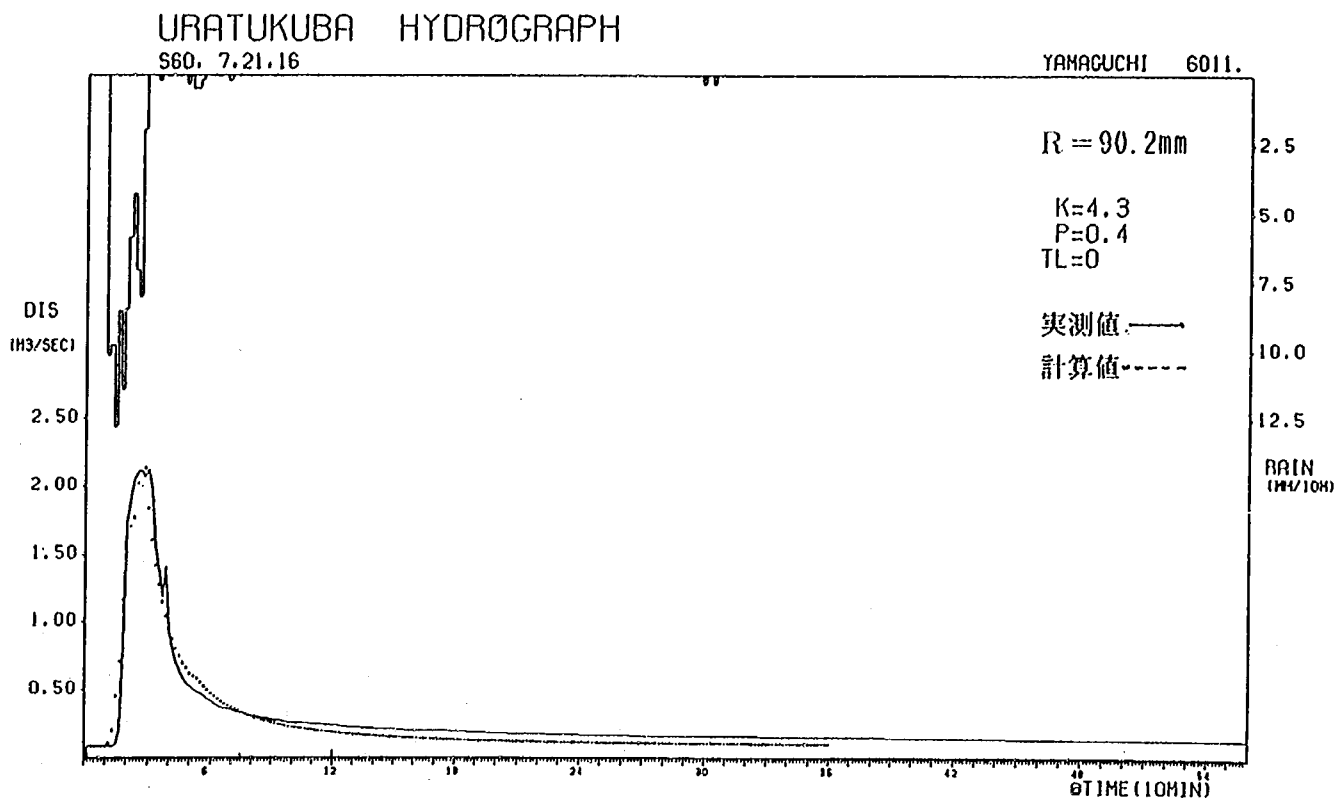


図 4.7 (1) 貯留関数法計算結果 (山口)

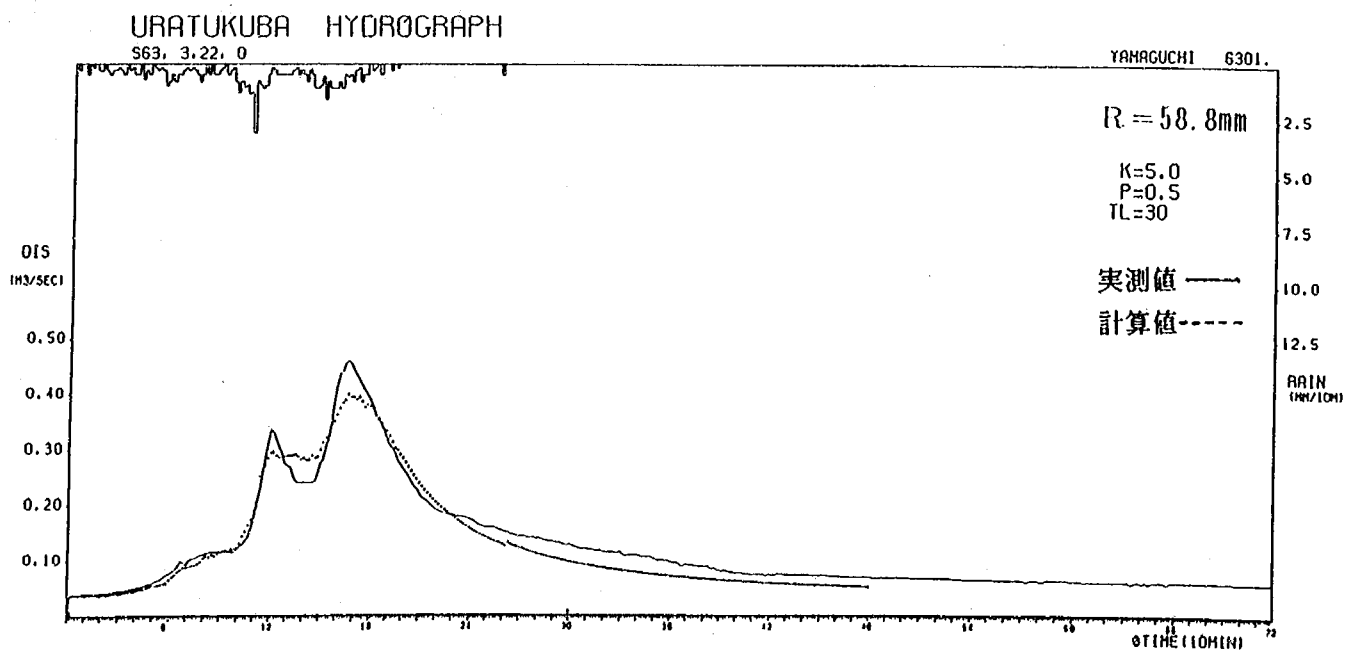


図 4.7 (2) 貯留関数法計算結果 (山口)

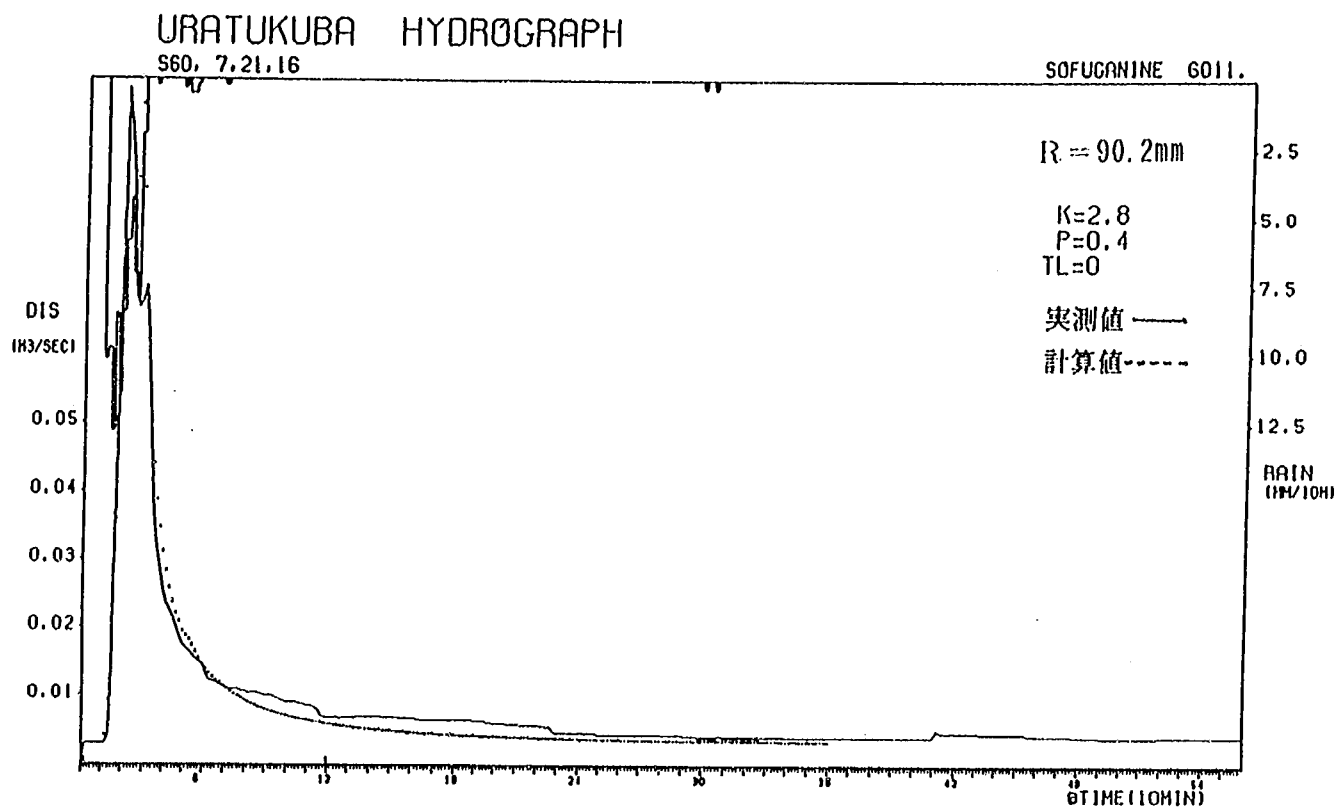


図 4.8 (1) 貯留関数法計算結果 (祖父ヶ峰)

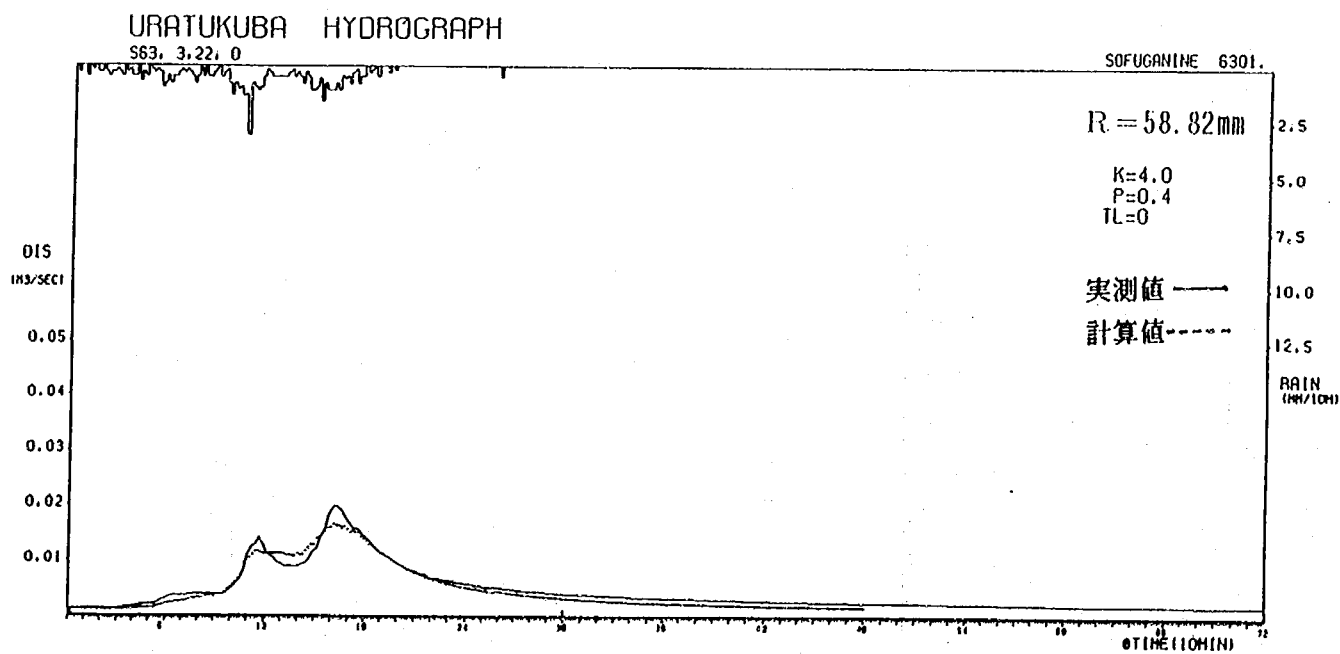


図 4.8 (2) 貯留関数法計算結果 (祖父ヶ峰)

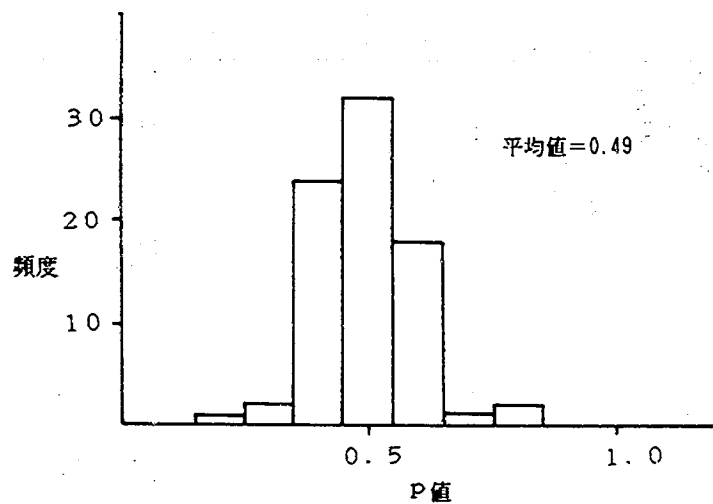


図 4.9 (1) p 値頻度分布 (山口)

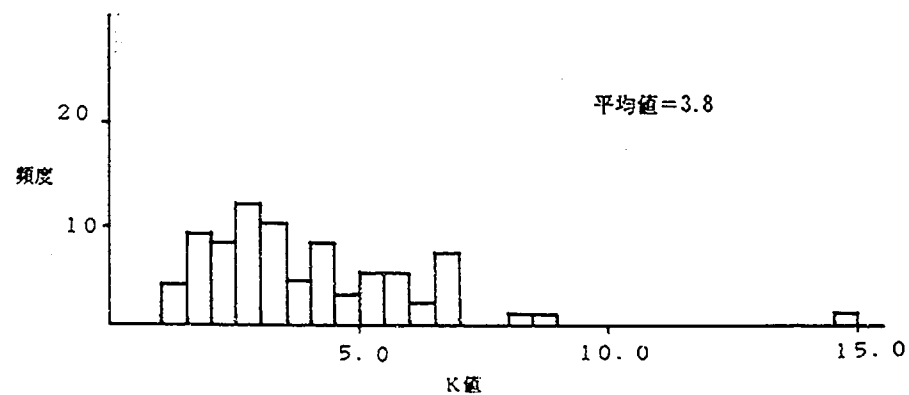


図 4.10 (1) K 値頻度分布 (山口)

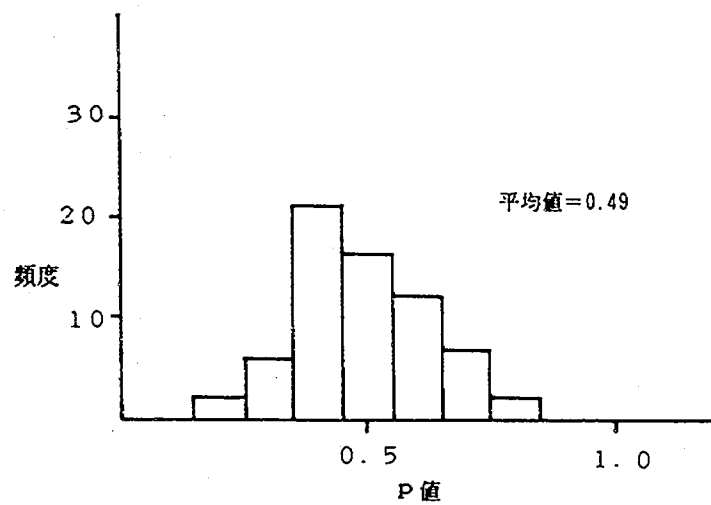


図 4.9 (2) p 値頻度分布 (祖父ヶ峰)

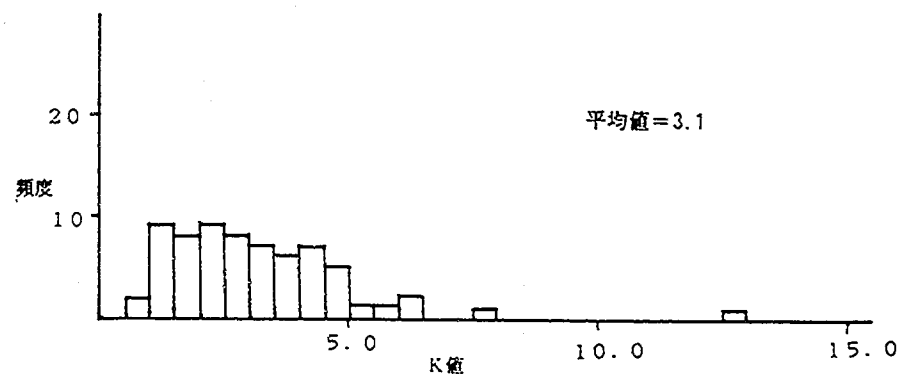


図 4.10 (2) K 値頻度分布 (祖父ヶ峰)

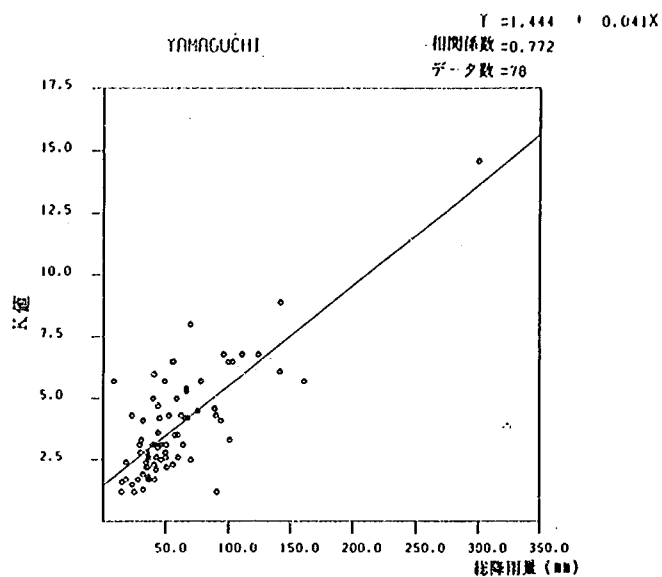


図 4.11 (1) 総降雨量-K値 (山口)

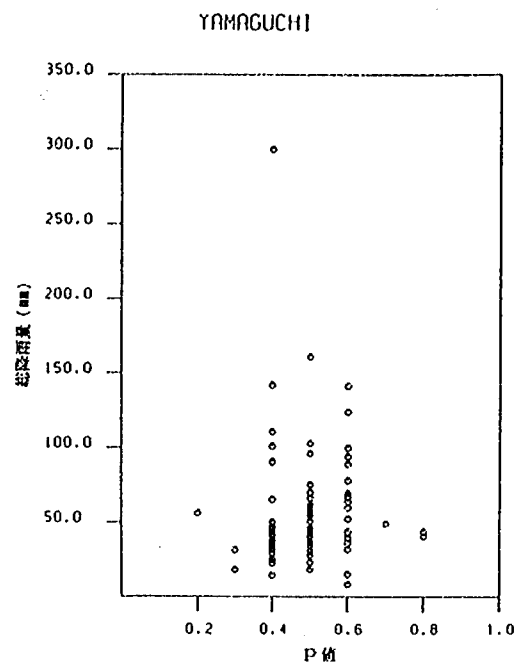


図 4.12 (1) 総降雨量-p 値 (山口)

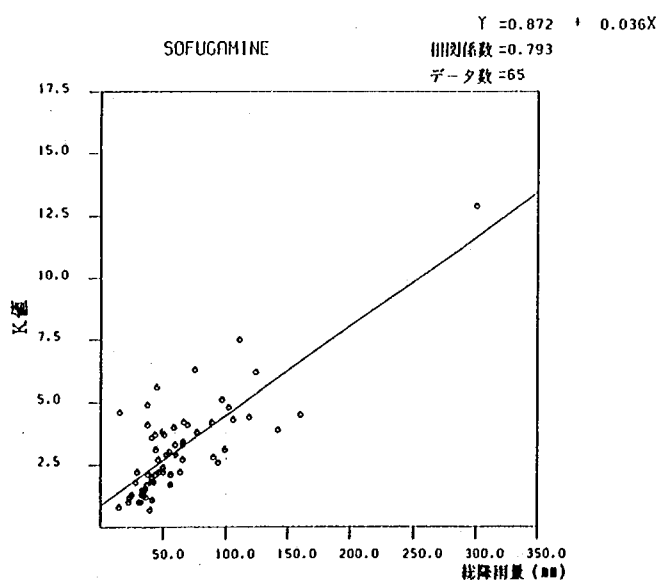


図 4.11 (2) 総降雨量-K値 (祖父ヶ峰)

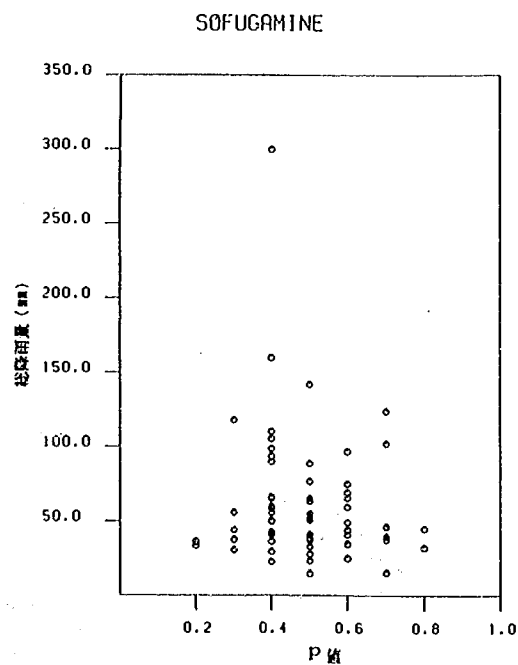


図 4.12 (2) 総降雨量-p 値 (祖父ヶ峰)

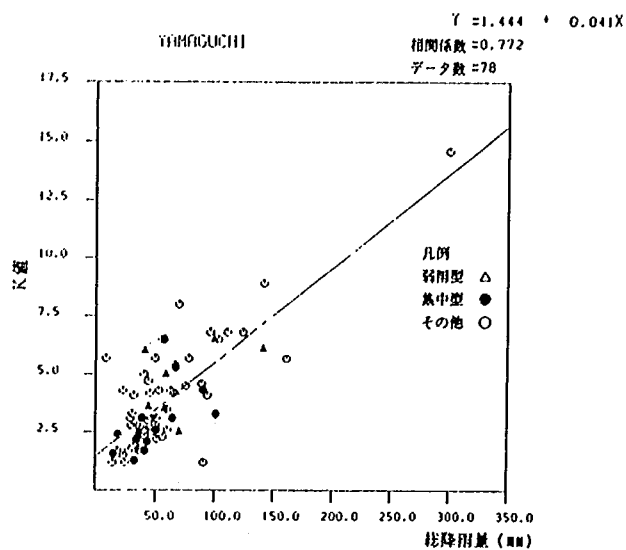


図 4.13 (1) 総降雨量－K値 (山口,
降雨波形パターン別)

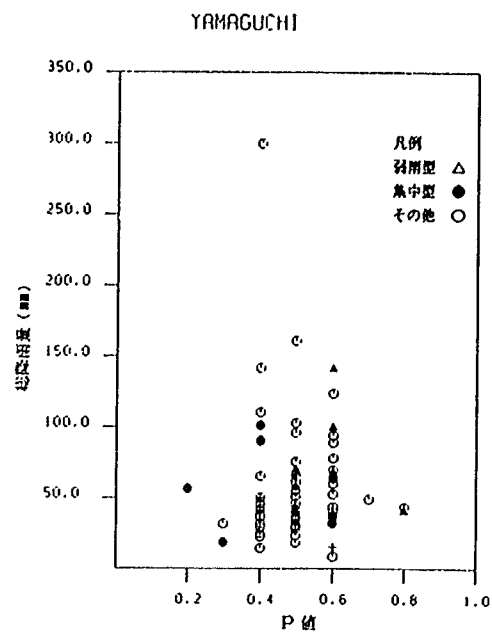


図 4.14 (1) 総降雨量－p 値 (山口,
降雨波形パターン別)

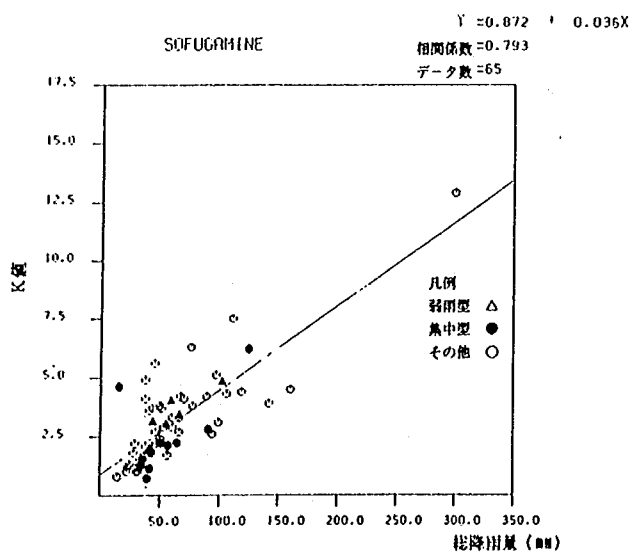


図 4.13 (2) 総降雨量－K値 (祖父ヶ峰,
降雨波形パターン別)

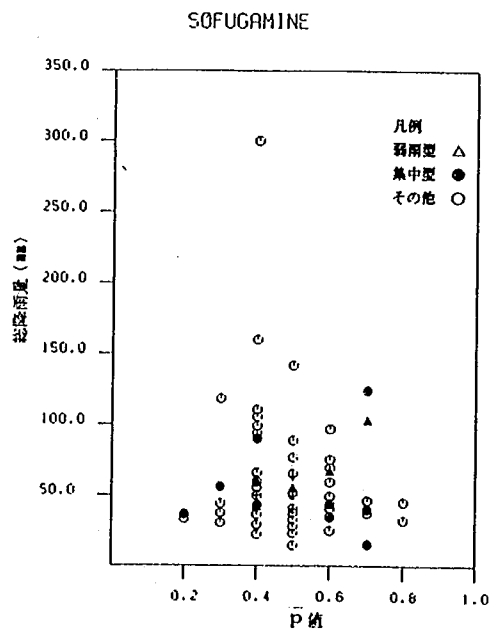


図 4.14 (2) 総降雨量－p 値 (祖父ヶ峰,
降雨波形パターン別)

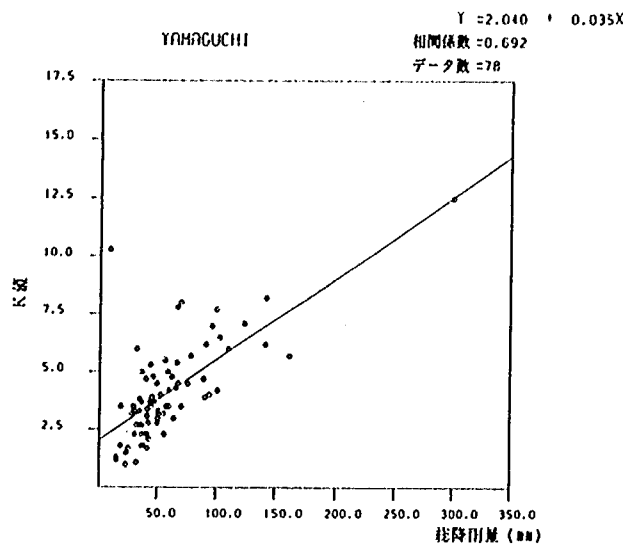


図 4.15 (1) 総降雨量-K値 (山口,
 $p = 0.5$ 固定)

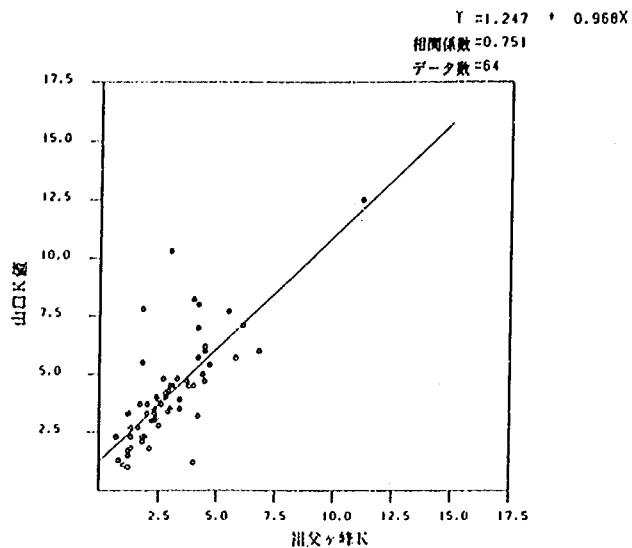


図 4.16 山口K値-祖父ヶ峰K値
 ($p = 0.5$ 固定)

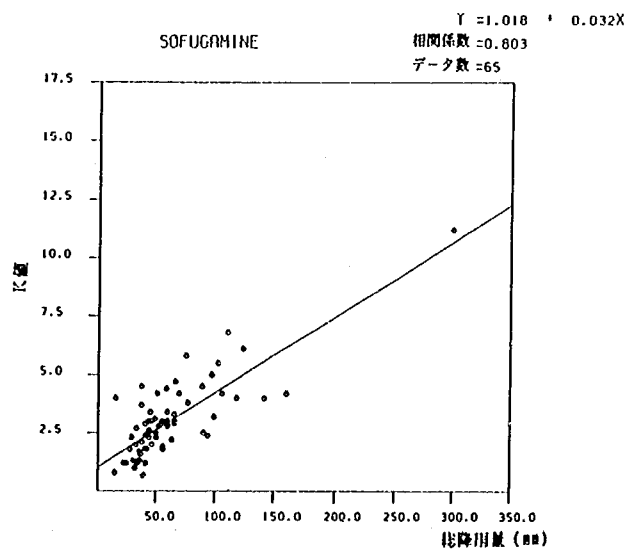


図 4.15 (2) 総降雨量-K値 (祖父ヶ峰,
 $p = 0.5$ 固定)

4. 2. 3 等価粗度法による解析

1) 解析方法

等価粗度法は斜面部及び河道部からの流出を水理学的に追跡して計算するため、流域内の斜面及び河道のモデル化を行う。モデル化するためのパラメータは、河道部は、河道長、河道勾配、 K 、 p 、斜面部は、斜面勾配、斜面幅、 K' 、 p' である。斜面部の K' 、 p' 以外のパラメータは流域形状等によって決定する流域固有の地形パラメータであり、斜面部の K' 、 p' は、洪水時の地表条件等の影響やモデルの誤差等も含んだ値となる。

(1) 地形パラメータ

①河道勾配

地形図より算出を行ったが、角屋らの研究によると河道勾配は地形図よりもとめると過大な値となり実状にそぐわないことが多く、山地河川でも $1/50$ 以下に抑える必要が指摘されている。そこで、本解析でも計算に用いた河道勾配は $1/50$ とした。

②河道長

斜面幅を考慮し地形図より算出した。

③河道パラメータ (K 、 p)

実際の河道断面 W 、勾配、粗度係数がわかれば、水位を数種仮定し流水断面積 W および流量 Q の計算を行い、縦軸に W 、横軸に Q をとり両対数グラフにプロットする。これに直線を挿入し $Q = 1 \text{ m}^3/\text{sec}$ に対応する w の値から K 値が直線の勾配から p 値が得られる。すなわち、

$$Q = 1, W = K \quad \dots\dots\dots \text{式4.19}$$

$$p = \frac{\log(W_2/W_1)}{\log(Q_2/Q_1)} \quad \dots\dots\dots \text{式4.20}$$

流量 Q はマンニング公式より算出する。

$$Q = W \cdot 1/N \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad \dots\dots\dots \text{式4.21}$$

Q : 流量 W : 断面積 N : マニングの粗度係数 R : 径深 i : 勾配

計算に用いた河道の諸定数は図4.17に示すとおりである。上式により計算した流水断面積 W と流水流量 Q をプロットしたものを図4.18に示す。

④斜面勾配

地形図より算出した。

⑤斜面幅

斜面長を考慮し地形図より算出した。

以上より求めた地形パラメータを表4.6に示す。

(2) 斜面パラメータ (K' 、 p')

斜面パラメータ K' 、 p' は等価粗度係数 N を決定することにより求まる。最適 N の計算は貯留関数同様に五つの誤差評価関数を設定し個々の誤差評価関数について誤差が最小となる定数を算出する。次に、これらの計算結果のハイドログラフの中から一番適合度の良いものを目視によって抽出し、最適な係数 N とした。

計算条件は以下による。

- ・有効降雨 水平分離法により求めた流出率による一定率損出法
- ・計算時間間隔 流域 $\Delta t = 1$ 分
- 河道 $\Delta t = 1$ 分

2) 解析結果

各洪水毎に算出した最適N値を表4.7～4.8に、計算ハイドログラフ例を図4.19～4.20に示す。

図4.21にN値の頻度分布を示す。山口では概ね0.1～0.4付近に分布しており、祖父ヶ峰では概ね1～3に分布している。N値の平均値は山口で0.318、祖父ヶ峰で2.518となっており、山口のN値は祖父ヶ峰のN値より1オーダー小さい値となっている。

N値と総降雨量との関係について示したものが図4.22である。総降雨量の増加にしたがってN値も増加する傾向が見られるがばらつきも多い。同様に総直接流出高及び洪水流出率とN値との関係を示したものが図4.23及び図4.24である。総降雨量との関係と同様な傾向が見られる。

3) 考察

- ・ 流出の再現性は貯留関数より劣る。
- ・ N値の平均値は山口で0.318、祖父ヶ峰で2.518となっており、山口のN値は祖父ヶ峰のN値より1オーダー小さい値となっている。
- ・ N値は総降雨量、総直接流出高、洪水流出率と相関が見られる。

4. 3 まとめ

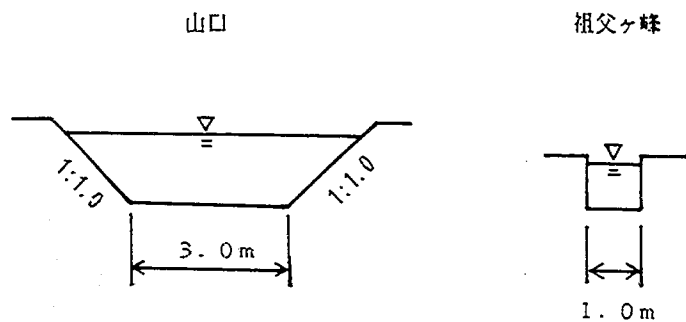
本章では、流出モデルを用いて流出特性の解析を行った。

日流量解析はタンクモデル法を用い、降雨初期における流域貯留能力の高さを示した。

洪水流量解析は、貯留関数法及び等価粗度法を用いて行った。

貯留関数法による解析結果は、p値が山口、祖父ヶ峰ともに0.4～0.6で平均値は0.49であった。K値は山口、祖父ヶ峰とも1.0～6.0で、平均値は山口が3.8、祖父ヶ峰は3.1であった。K値は自然流域としては小さい値となっており、河道に到達する流出成分は早い流出形態をとっているものと考えられる。

等価粗度法による解析結果は、N値の平均が山口で0.318、祖父ヶ峰で2.518となっており、山口のN値は祖父ヶ峰より小さい。これは貯留関数法による解析結果と矛盾する。原因としては、河道とその付近の限られた場所からの流出を、斜面全体で表面流が発生しているとして計算しているためと考えられる。



河道勾配 $i = 1/50 = 0.02$
 河道の粗度 $= 0.040$

図 4.17 河道の諸定数

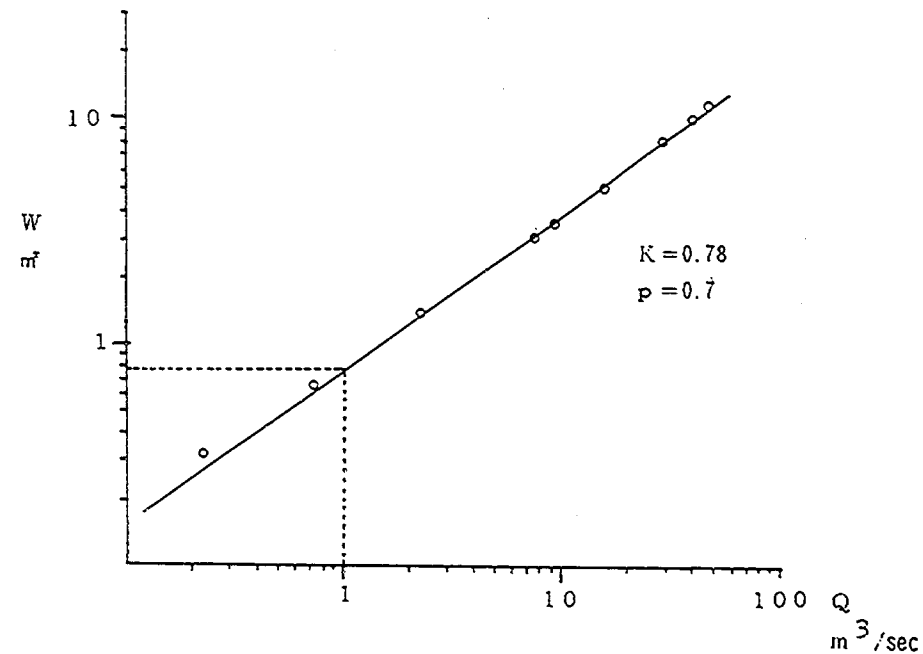


図 4.18 (1) 河道 K , p の算出 (山口)

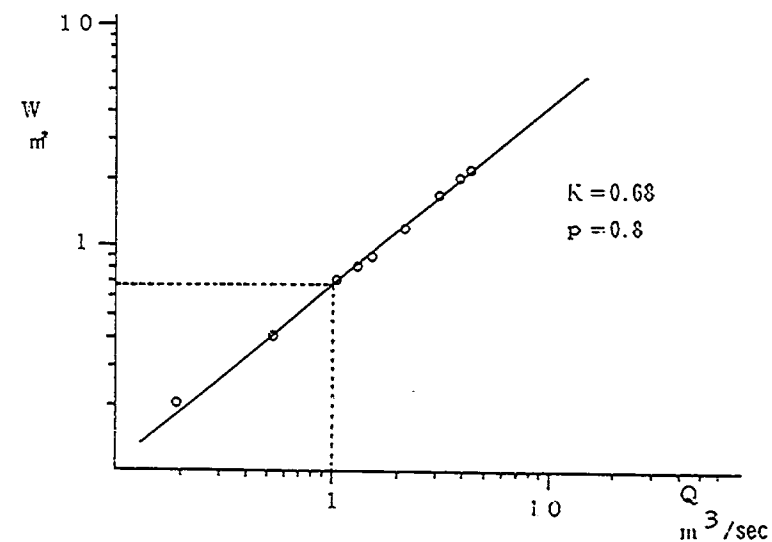


図 4.18 (2) 河道 K , p の算出 (祖父ヶ峰)

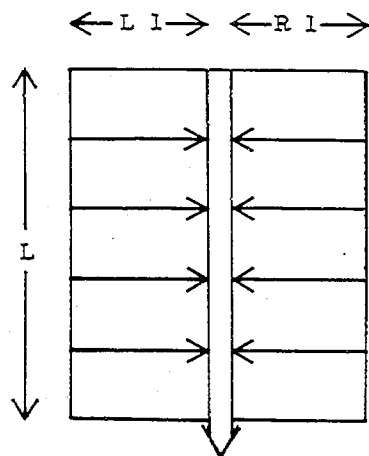


表 4.6 流域モデル定数

		山口	祖父ヶ峰
斜 面	斜面長 $L1$ (m)	925	100
	斜面長 $R1$ (m)	925	100
	斜面勾配 Li	0.179	0.438
	Ri	0.210	0.343
河 道	河道長 L (m)	1680	800
	河道勾配 i	0.064(0.02)	0.208(0.02)
	河道幅 (m)	3.00	1.00
	粗度係数 n	0.040	0.040
	K	0.78	0.68
	p	0.7	0.8

注) () 内は解析採用値

表 4.7 (1) 等価粗度法最適パラメータ N (山口)

洪水NO	発起年月日	総雨量	流出率	誤差を最小とするN値					最適N
				ピーク誤差	ピーク平方誤差	相対誤差	相対二乗誤差	加二乗誤差	
44-08	S44. 8.23	51.0	0.059	0.11	0.12	0.16	0.16	0.13	0.12
-09	9. 2	32.0	0.044	0.09	0.09	0.13	0.13	0.11	0.09
-14	10.25	67.5	0.063	0.01	0.25	0.21	0.33	0.30	0.21
45-01	S45. 1.30	36.1	0.057	0.09	0.13	0.13	0.13	0.13	0.09
-03	5.16	57.2	0.076	0.26	0.27	0.27	0.26	0.28	0.27
-07	6.19	40.0	0.110	0.45	0.34	0.61	0.53	0.39	0.34
-13	11.19	141.4	0.147	0.74	1.51	1.41	1.71	1.70	1.51
46-02	S46. 4.29	96.2	0.164	0.61	0.70	0.86	0.85	0.80	0.70
-05	8.16	34.7	0.074	0.10	0.10	1.58	1.43	1.01	0.10
-06	8.30	161.0	0.187	0.94	0.58	0.87	0.89	0.63	0.87
-08	9.26	75.6	0.116	0.41	0.27	0.24	0.22	0.25	0.27
47-01	S47. 1.11	99.9	0.109	0.42	1.25	1.33	1.34	1.39	0.42
-04	2.26	46.5	0.094	0.13	0.29	0.62	0.59	0.35	0.29
-12	6. 9	34.4	0.094	0.08	0.10	0.10	0.56	0.10	0.08
-13	7.14	43.8	0.075	0.12	0.14	0.69	0.67	0.27	0.12
-18	9.12	18.5	0.100	0.07	0.10	0.59	0.57	0.47	0.07
48-02	S48. 4.12	50.3	0.083	0.28	1.00	1.75	1.62	1.37	0.28
-10	8. 4	101.0	0.100	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.15
-11	8. 6	43.4	0.102	0.10	0.13	0.83	0.71	0.55	0.10
-19	11.10	62.2	0.099	0.20	0.24	0.37	0.32	0.27	0.24
49-03	S49. 6.13	47.2	0.170	0.28	0.95	1.91	1.83	1.45	0.28
50-02	S50. 4.21	50.5	0.088	0.19	0.22	0.32	0.35	0.27	0.22
-04	6. 7	36.4	0.029	0.01	0.02	0.08	0.06	0.02	0.01
-06	7.21	36.4	0.058	0.09	0.08	0.29	0.29	0.27	0.08
51-07	S51. 7.18	15.3	0.169	0.05	0.09	0.27	0.26	0.21	0.05
-11	10. 9	31.8	0.157	0.74	0.90	1.05	1.05	1.05	0.74
52-03	S52. 5.15	102.9	0.124	0.79	0.52	0.50	0.49	0.50	0.52
-04	6.14	25.0	0.036	0.03	0.03	0.17	0.16	0.12	0.03
-07	7. 6	63.9	0.057	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.10
-11	8.13	70.3	0.093	0.13	0.23	0.27	0.28	0.25	0.25
54-01	S54. 5. 8	54.9	0.090	0.05	0.22	0.90	0.80	0.23	0.22
-02	5.14	91.0	0.263	0.47	0.63	1.54	1.67	1.27	0.47
-04	8.24	39.5	0.052	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08	0.09
-07	10. 6	36.5	0.227	2.11	-	-	-	-	2.11
-08	10.11	34.5	0.064	0.14	0.16	0.12	0.12	0.15	0.16
55-02	S55. 3.29	28.0	0.056	0.02	0.07	0.13	0.12	0.12	0.07
-05	8.19	22.9	0.030	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
-06	9. 8	30.6	0.059	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
-07	9. 9	66.6	0.337	0.70	1.62	2.52	2.33	2.13	0.70

表 4.7 (2) 等価粗度法最適パラメータ N (山口)

洪水NO	発起年月日	総雨量	流出率	誤差を最小とするN値					最適N
				ビーク誤差	ビーク平方誤差	相対誤差	相対二乗誤差	加二乗誤差	
56-02	S56. 5. 7	45.9	0.123	0.46	0.39	0.37	0.36	0.37	0.37
-03	5.17	29.4	0.086	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.13
-05	7.22	42.0	0.057	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10
-07	8.28	36.5	0.150	0.19	0.40	0.59	0.55	0.48	0.19
57-02	S57. 4.14	60.0	0.092	0.17	0.18	0.24	0.30	0.22	0.18
-11	7.31	30.1	0.083	0.12	0.14	0.32	0.32	0.20	0.12
58-02	S58.03.13	44.2	0.058	0.32	0.34	0.34	0.32	0.33	0.32
-03	04.01	52.6	0.084	0.38	0.25	0.22	0.21	0.23	0.21
-09	06.12	56.0	0.069	0.10	0.10	0.08	0.07	0.08	0.10
-10	06.20	65.6	0.097	0.35	0.26	0.25	0.22	0.23	0.23
-14	09.01	41.3	0.059	0.07	0.07	0.03	0.29	0.23	0.07
-15	09.07	56.3	0.181	0.25	0.73	1.99	1.99	1.99	0.25
59-06	S59.06.13	40.8	0.061	0.13	0.19	0.22	0.21	0.20	0.13
-07	06.22	49.3	0.084	0.59	0.41	0.43	0.34	0.38	0.41
-08	06.26	40.8	0.076	0.34	0.32	0.20	0.21	0.26	0.26
-09	06.29	45.1	0.080	0.44	0.33	0.24	0.25	0.28	0.33
-10	07.05	14.7	0.067	0.04	0.05	0.19	0.19	0.16	0.04
60-07	S60.04.22	59.7	0.089	0.27	0.27	0.32	0.30	0.27	0.27
-10	06.30	124.0	0.202	0.61	0.65	0.67	0.78	0.72	0.72
-11	07.21	90.2	0.095	0.25	0.20	1.20	1.00	0.15	0.25
-12	08.10	32.2	0.043	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
-15	08.30	94.0	0.098	0.37	0.32	0.46	0.45	0.35	0.32
-19	10.14	43.8	0.090	0.37	0.31	0.35	0.29	0.30	0.35
61-01	S61.03.19	49.9	0.083	0.18	0.16	0.18	0.17	0.15	0.16
-04	05.14	89.0	0.099	0.60	0.30	0.22	0.22	0.24	0.30
-08	06.25	37.2	0.070	0.18	0.14	0.11	0.11	0.12	0.18
-10	08.03	300.0	0.179	0.61	1.28	1.30	1.37	1.33	1.33
-13	12.14	38.0	0.057	0.09	0.12	0.14	0.14	0.13	0.09
62-04	S62.07.03	41.2	0.075	0.12	0.26	0.22	0.24	0.25	0.22
-05	07.15	42.6	0.061	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
-09	09.25	23.4	0.068	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06
63-01	S63.03.22	58.8	0.104	0.21	0.54	0.43	0.46	0.51	0.46
-02	05.12	66.5	0.092	0.65	0.63	0.81	0.84	0.71	0.63
-06	07.28	69.5	0.166	0.81	1.10	1.22	1.19	1.18	0.81
-08	08.11	142.0	0.227	0.63	1.24	1.68	1.59	1.49	0.63
-11	09.25	110.6	0.138	0.55	0.36	0.37	0.39	0.36	0.37

表 4.8 (1) 等価粗度法最適パラメータ N (祖父ヶ峰)

洪水NO	発起年月日	総雨量	流出率	誤差を最小とするN値					最適N
				ピーク誤差	ピーク平方誤差	相対誤差	相対二乗誤差	加二乗誤差	
44-14	S44. 10.25	66.0	0.055	2.90	2.00	2.40	2.30	2.10	2.30
45-03	S45. 5.16	55.1	0.052	1.80	1.70	3.90	3.80	3.60	1.70
-07	6.19	37.5	0.067	3.20	2.40	1.30	1.50	1.90	3.20
46-02	S46. 4.29	105.7	0.108	1.60	6.70	9.10	9.00	7.80	1.60
-05	8.16	34.7	0.039	0.82	0.82	0.26	0.33	0.48	0.82
-06	8.30	160.0	0.111	5.10	6.00	8.40	7.40	5.90	5.10
-08	9.26	77.1	0.087	4.70	3.30	1.90	1.80	2.60	3.30
47-01	S47. 1.11	102.3	0.078	7.50	6.80	4.90	4.60	6.20	4.90
-04	2.26	46.5	0.054	1.60	1.90	1.90	2.10	2.00	2.00
-12	6. 9	34.4	0.034	0.52	0.50	0.31	0.30	0.35	0.50
48-02	S48. 4.12	50.3	0.078	2.60	7.00	0.30	0.51	9.00	2.60
-19	11.10	65.5	0.067	2.50	2.50	2.70	2.50	2.10	2.50
49-06	S49. 8.31	99.1	0.080	1.30	1.50	2.40	2.50	2.30	1.50
50-02	S50. 4.21	44.2	0.054	0.90	1.40	2.10	2.60	1.50	1.50
-05	6. 7	28.0	0.030	0.60	0.21	0.17	0.15	0.17	0.17
-07	7. 3	97.0	0.084	1.40	8.00	4.60	5.30	7.30	7.30
-08	7.21	36.4	0.048	0.61	0.47	0.22	0.24	0.31	0.61
51-07	S51. 7.18	15.3	0.059	0.30	0.53	0.52	0.64	0.65	0.30
-12	10. 9	37.6	0.099	6.30	9.30	11.00	11.00	11.00	6.30
52-04	S52. 6.14	25.0	0.022	0.40	0.64	1.00	0.90	0.78	0.40
-07	7. 6	63.7	0.046	1.80	1.30	5.50	5.20	4.50	1.30
-11	8.13	59.6	0.092	6.20	10.90	1.70	1.70	2.50	6.20
-04	8.24	39.5	0.031	0.23	0.24	0.35	0.15	0.21	0.24
-09	10.18	46.0	0.145	2.90	10.00	0.92	0.99	2.20	2.90
55-05	S55. 8.19	22.6	0.025	0.44	0.46	0.54	0.50	0.50	0.44
-06	9. 8	30.6	0.036	0.74	1.20	2.10	2.00	1.60	0.74
-07	9. 9	56.0	0.068	1.00	4.40	0.59	0.48	0.29	1.00
56-02	S56. 5. 7	33.4	0.056	0.89	1.90	2.00	2.00	2.00	2.00
-03	5.17	29.4	0.056	1.20	0.89	1.10	1.00	0.80	1.10
-07	8.28	36.0	0.060	0.94	2.40	5.00	3.90	3.40	0.94
57-02	S57. 4.14	60.0	0.072	0.99	0.91	2.70	2.70	1.90	0.99
58-02	S58. 3.13	44.2	0.051	2.30	2.40	2.50	2.60	2.50	2.40
-03	4.01	52.6	0.061	3.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
-09	6.12	56.0	0.046	1.10	2.00	2.50	2.40	2.20	1.10
-10	6.20	65.6	0.061	2.20	2.30	2.40	2.10	2.20	2.20
-14	9.01	41.3	0.027	0.51	0.48	0.28	0.23	0.28	0.48
-15	9.07	56.3	0.074	0.86	0.22	0.20	0.16	0.15	0.86

表 4.8 (2) 等価粗度法最適パラメータ N (祖父ヶ峰)

洪水NO	発起年月日	総雨量	流出率	誤差を最小とするN値					最適N
				ピーク誤差	ピーク平方誤差	相対誤差	相対二乗誤差	加二乗誤差	
59-07	S59. 6.22	49.3	0.051	4.80	3.60	3.60	3.70	3.60	3.70
-08	6.26	40.8	0.051	3.20	2.70	2.20	2.10	2.30	2.20
-09	6.29	45.1	0.062	4.90	5.80	7.30	7.10	6.60	4.90
-10	7.05	14.7	0.043	0.32	0.29	0.15	0.14	0.17	0.32
60-07	S60.04.22	59.7	0.068	3.40	2.70	2.70	2.50	2.40	2.40
-10	6.30	124.0	0.148	6.90	7.40	7.90	7.10	7.10	7.10
-11	7.21	90.2	0.064	1.90	1.50	0.86	0.69	0.59	1.90
-12	8.10	32.2	0.027	0.28	0.22	0.15	0.15	0.17	0.28
-15	8.30	94.0	0.066	1.10	2.30	0.55	0.54	0.60	1.10
-19	10.14	43.8	0.056	3.00	2.80	3.20	2.80	2.80	2.80
61-01	S61.03.19	49.9	0.068	1.70	1.30	1.20	1.10	1.10	1.70
-04	5.14	89.0	0.088	7.00	4.00	2.30	2.40	2.90	4.00
-08	6.25	37.2	0.043	1.30	0.79	0.81	0.74	0.74	0.74
-10	8.03	300.0	0.149	8.20	16.00	19.00	18.00	17.00	17.00
-13	12.14	38.0	0.047	1.20	1.50	1.80	1.60	1.50	1.50
62-04	S62.07.03	41.2	0.044	0.46	2.40	2.60	2.50	2.50	0.46
-05	7.15	42.6	0.052	0.92	0.62	0.54	0.53	0.52	0.92
-09	9.25	23.4	0.042	0.56	0.61	0.31	0.31	0.50	0.50
63-01	S63. 3.22	58.8	0.083	3.10	5.80	5.80	5.90	6.00	3.10
-02	5.12	66.5	0.076	2.50	7.40	9.90	14.00	8.80	7.40
-06	7.28	69.5	0.091	6.00	3.10	2.30	2.20	2.40	3.10
-08	8.11	142.0	0.114	2.90	2.70	2.90	2.80	2.70	2.80
-11	9.25	110.6	0.124	8.20	7.20	5.50	5.20	5.20	7.20

URATUKUBA HYDROGRAPH

s60.7.21.16

YAMAGUCHI 6011.

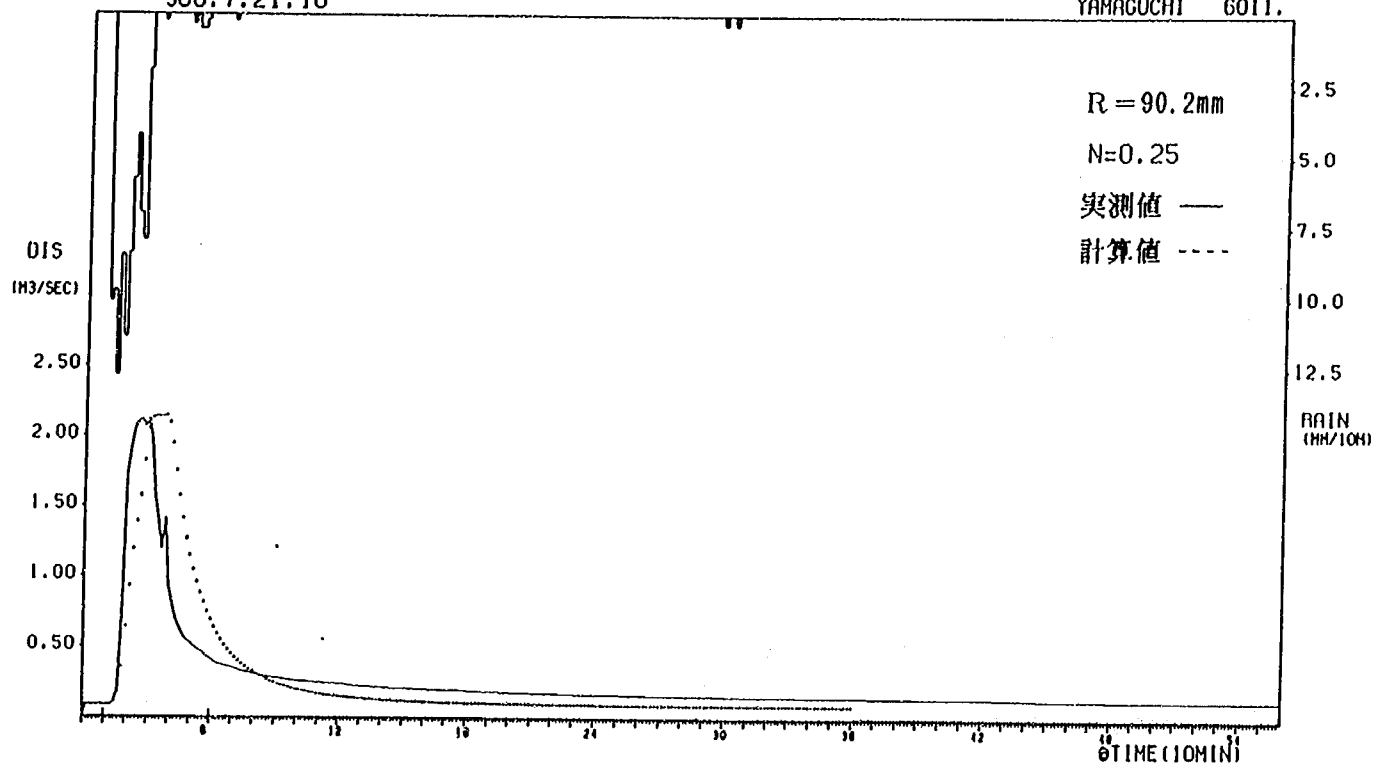


図 4.19 (1) 等価粗度法計算結果 (山口)

URATUKUBA HYDROGRAPH

s63.3.22.0

YAMAGUCHI 6301.

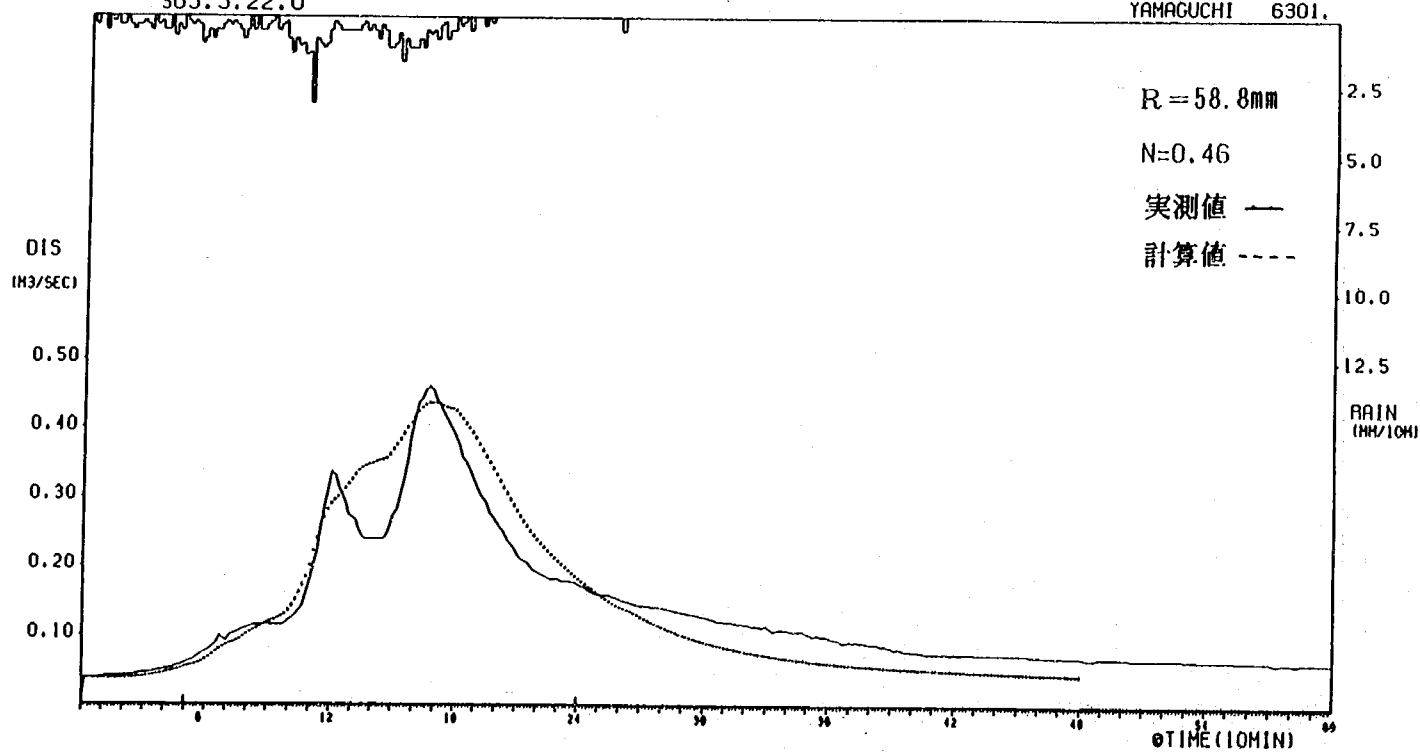


図 4.19 (2) 等価粗度法計算結果 (山口)

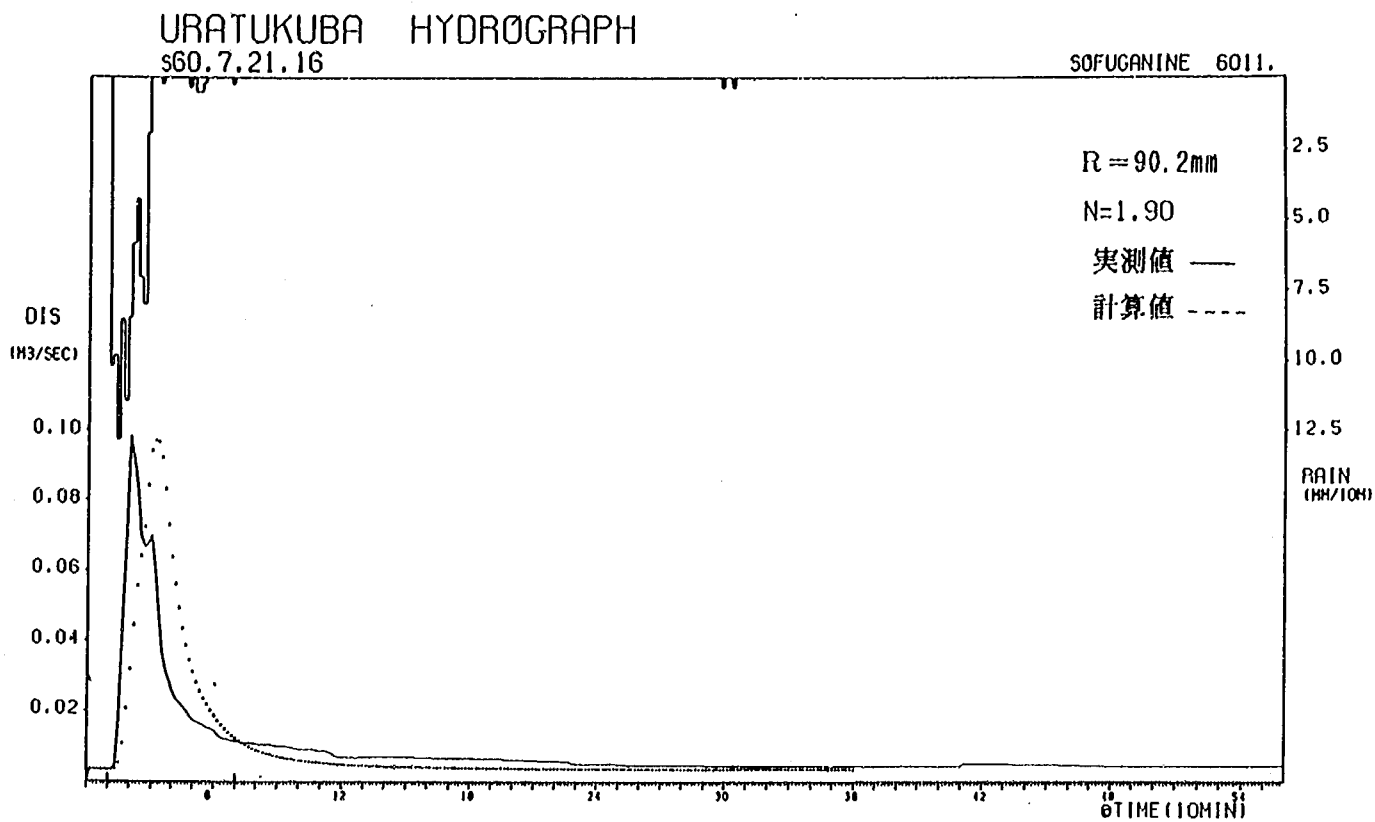


図 4. 20 (1) 等価粗度法計算結果 (祖父ヶ峰)

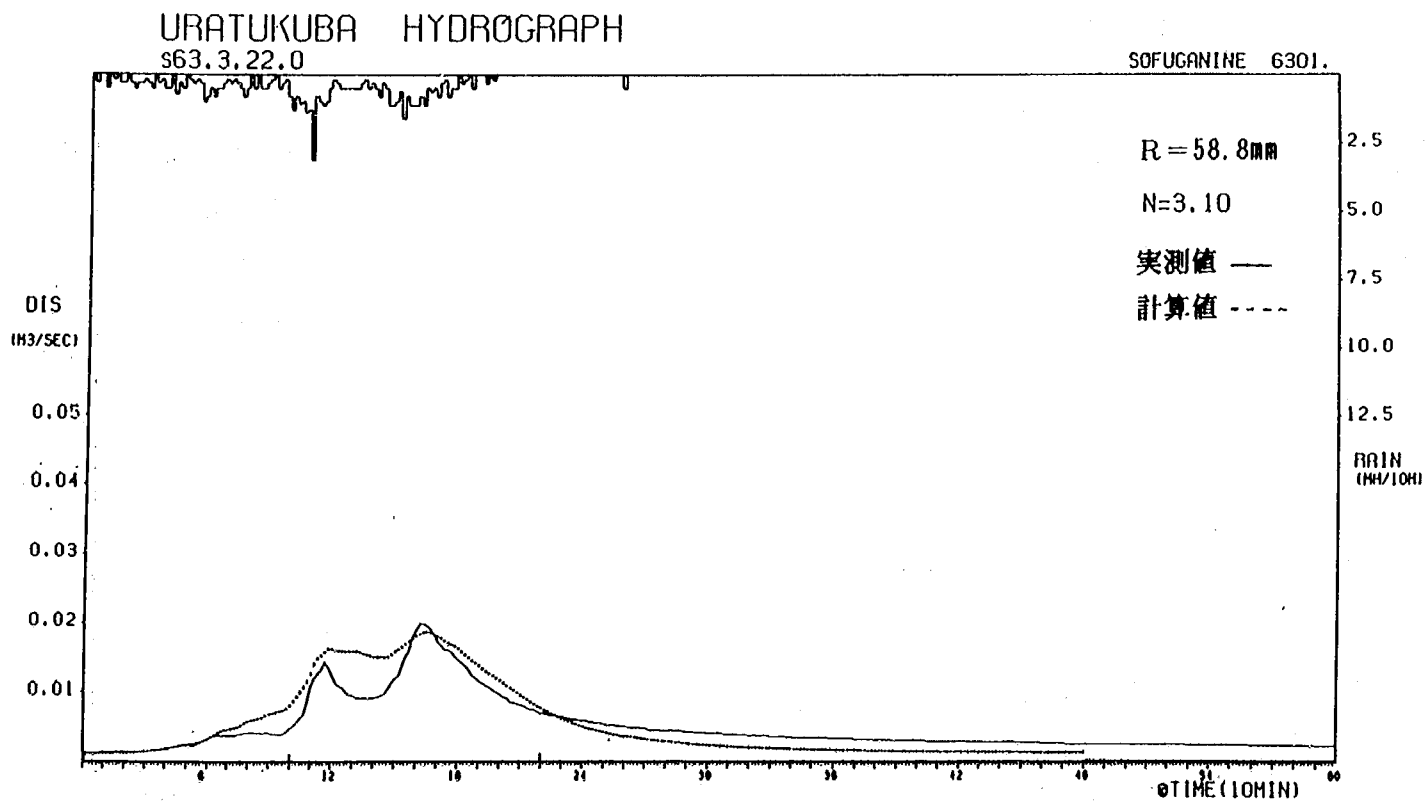


図 4. 20 (2) 等価粗度法計算結果 (祖父ヶ峰)

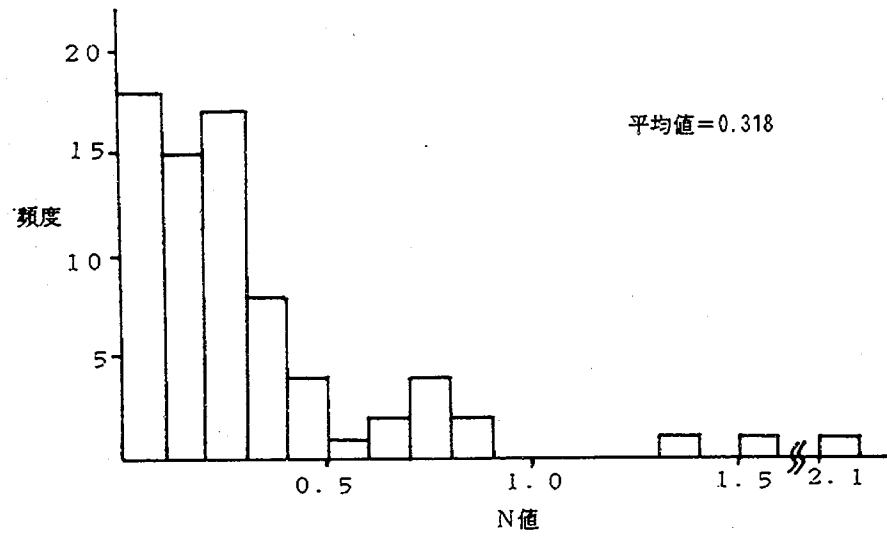


図 4.21 (1) N値頻度分布 (山口)

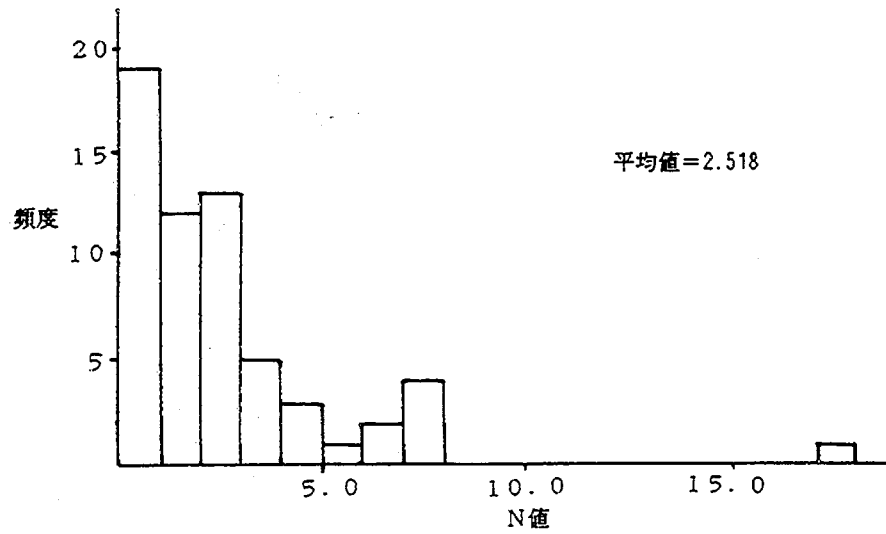


図 4.21 (2) N値頻度分布 (祖父ヶ峰)

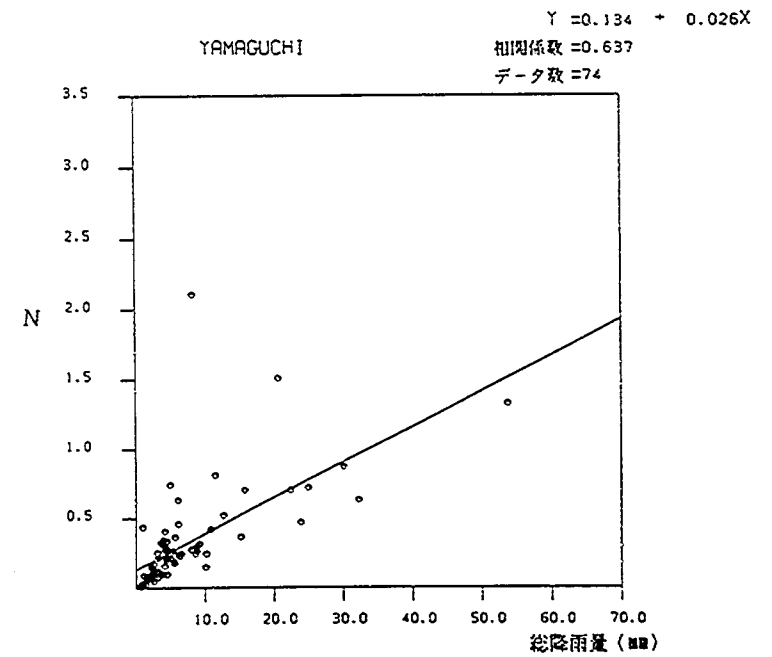


図 4.22 (1) 総降雨量 - N (山口)

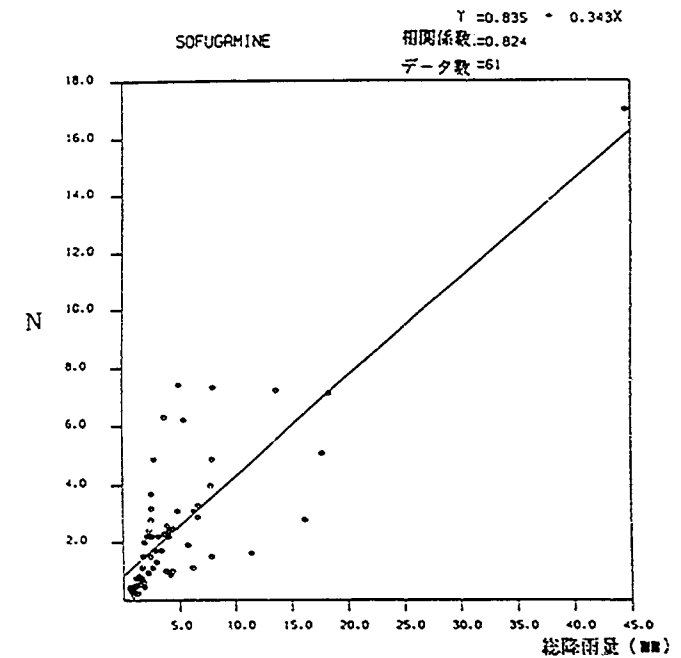


図 4.22 (2) 総降雨量 - N (祖父ヶ峰)

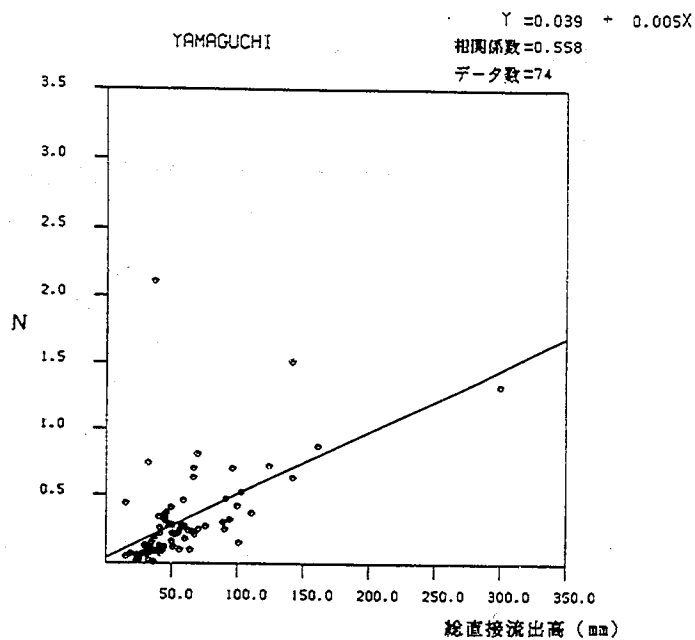


図 4.23 (1) 総直接流出高 - N (山口)

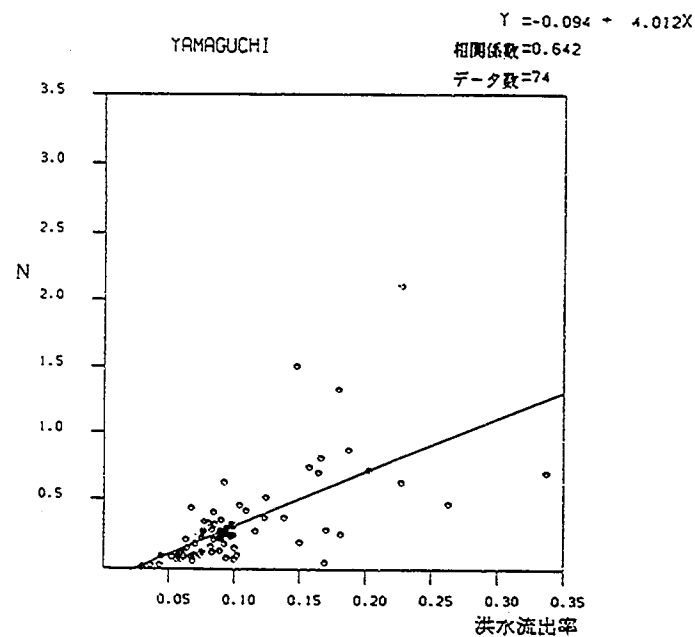


図 4.24 (1) 洪水流出率 - N (山口)

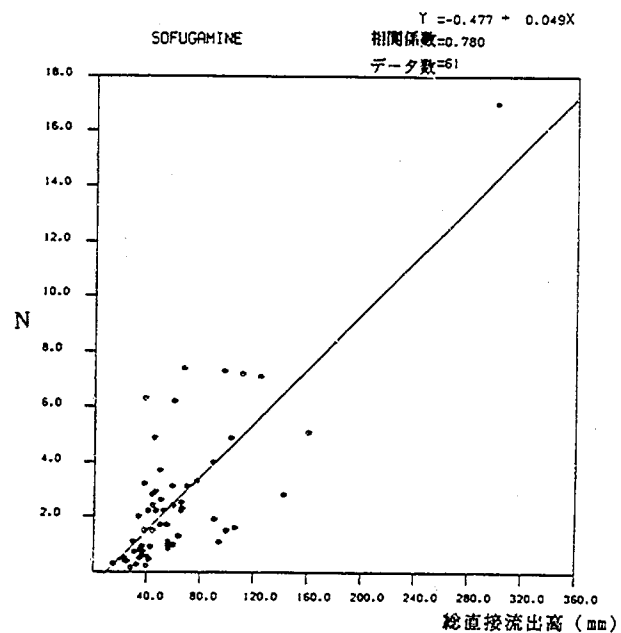


図 4.23 (2) 総直接流出高 - N (祖父ヶ峰)

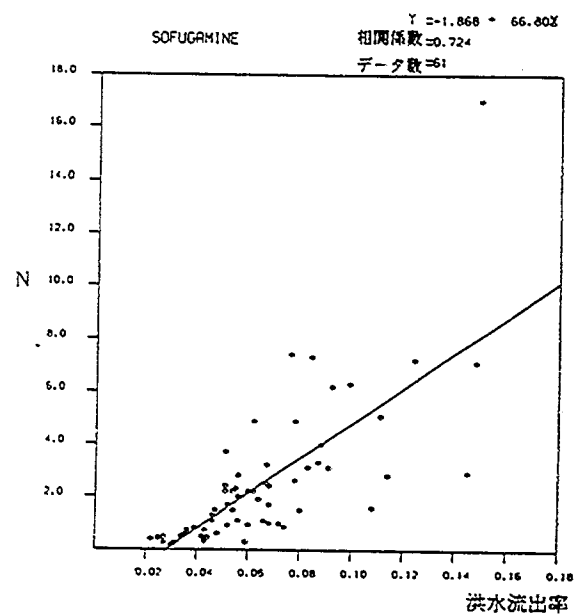


図 4.24 (2) 洪水流出率 - N (祖父ヶ峰)

第5章 分布型流出モデルによる解析

5・1 はじめに

現在、河川計画や洪水予測には貯留関数法等のブラックボックスモデルを使用することが多い。これらのモデルは、箱の中身を見ようとせず降雨と流量の関係だけに着目して解析されるため、流域の改変による流出量の変化の予測、流域内の局地的な土地条件、地形、降雨特性の影響予測に対応できない。この問題に対応するには流出機構をできるだけ物理的にモデルに反映させることが必要になる。

ヨーロッパで開発された物理機構に基づく分布型モデルのSHEモデル¹⁾は、モデル化の手間と計算時間の制約から流域面積10km²程度までの適用が限界である。国内では、日野らのBFGMを用いた3次元の不飽和浸透流モデル²⁾や高樺らの鉛直2次元の飽和・不飽和浸透流モデルと表面流モデルを結合させた、表面流と地中流の相互干渉モデル³⁾がある。これらのモデルは地形特性が流出に与える影響や表面流の発生機構を分析するには有用なモデルである。しかし、モデルの複雑さのため大流域にこれらのモデルを適用するのは困難である。

本章では、直轄河川への適用のため、主要な流出の物理機構を残したままある程度簡略化した大流域にも適用できる実用的な分布型モデルを開発した結果を述べるとともに、裏筑波流域に適用した結果を示す。

5・2 分布型流出モデルの特長

流域に降った雨はさまざまな経路を通して河川へ流出する。降雨から流出までの経路は、斜面上を流れる表面流、土中の不飽和帯を流れる中間流、地下水流等の横方向の水の流れと、地表から土中への浸透、不飽和帯から地下水への涵養あるいは土中からの湧水等の縦方向の水の流れがあり、各流出の過程は複雑であるばかりではなく互いに関連し合っている。

従来用いられてきた流出モデルは、これらの流出現象とは無関係に流域をひとつのタンクとして入力と出力の関係のみを扱う構造となっている。流出特性はひとつあるいは数個のタンクの持つ流出過程の現象と直接結び付かないパラメータに集約されるので、このようなモデルは集中型モデルと呼ばれる。

一方、流出現象を物理的に扱うため流域を細分し、各メッシュにパラメータを与えるモデルを、分布型モデルと言う。流出予測モデルとしての従来の集中型モデルにない分布型モデルの特長は、パラメータが分布していることにより

- 1) 部分的な流域の改変（開発や森林伐採等）の影響予測
- 2) 流域内での局地的な降雨、地形、土壤水分等の変動の影響評価が可能となる。また、物理モデルに近いことから
- 3) 水文資料の少ない河川での予測が可能となる。

近年、レーダ雨量計による降雨の面的な分布状態や、衛星による土地利用及び、土壤水分の情報が入手できるようになった。分布型流出モデルは、これらの情報をモデル中に取り込むことにより精度の良い流出計算が可能となる。

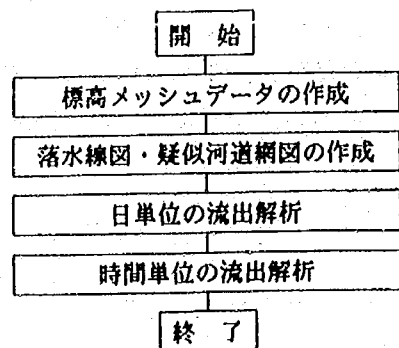


図5.1 流出解析フロー図

5・3 分布型流出モデルの概要

本モデルでは、流域をメッシュ分割して、地中流をメッシュ間の移動として表す。計算は図5.1のとおり

り、まず標高メッシュデータを用いて、流域の地形特性を表現する。次に、日単位で洪水の直前まで流出計算をする。洪水直前の水位は洪水計算の初期値になり、洪水の損失雨量を規定する。最後に、日単位の計算と同じ定数を用いて、時間単位で洪水計算をする。

5・3・1 デジタルマッピング

流域をメッシュ分割し、雨水の流れの方向を設定する。次に、メッシュを流域と河道の2つに分けて、斜面と河道網を構成する。

流域の標高メッシュデータは、国土数値情報として簡単に得られるが、等高線のための地形図をスキャンし自動的に計算する手法も開発されている。

雨水の流れの方向はメッシュの格子点から上下左右とその中間の45°の方向の8方向の勾配のうち、最も急な勾配の方向とする。このようにして流れの方向を示した図を落水線図⁴⁾と言う。山口流域及び祖父ヶ峰流域の落水線図は図5.2のとおりである。

斜面と河道の分離はある格子点の上流にある格子点の数すなわち集水面積にしきい値を設定して、それより小さい集水面積をもつ格子点は斜面とし、大きい格子点を河道とする。河道の落水線図は概略の河道網を表しているの、疑似河道網図と言う。山口流域、祖父ヶ峰流域の疑似河道網図を図5.3に示す。

5・3・2 モデルの構成

分布モデルは、図5.4のとおり全てのメッシュの格子点の上に鉛直方向に並べられた4層のモデルと河道モデルからなる。各モデル間の水の流れは、鉛直方向には真下、横方向にはとなりあう格子点のうち最も低い方向のみに流れるようにした。河道モデルは表面流・中間流が河道へ流入する場合と、地下水が流入する場合の2種類を設定した。各モデルの機能は次のとおりである。

- ・表層モデル――表面流出、早い中間流出
地下浸透、表面貯留
- ・不飽和帯モデル――遅い中間流出、地下水補給
不飽和帯の貯留
- ・地下水モデル――不圧地下水流出、被圧地下水流出
- ・河道モデル――河道流下

モデルの流水移動計算方法を図5.5に示す。各モデルとも物理的な現象のモデル化を行い流出の再現を行った。

5・3・2・1 表層モデル

表面流はManning則が成り立つものとし、流出量は貯留高の5/3乗に比例するものとする。早い中間流出量と地下浸透量は貯留高に比例するものとする。このモデルは表面の粗度係数・浸透能等の定数で構成される。連続式は以下のとおりである。

$h \geq S_{r2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} - Q_0 - Q_{sf} - Q_{ri} \dots \dots \dots \text{式5.1}$$

$S_{r1} \leq h < S_{r2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{r2} * h - Q_0 - Q_{ri} \dots \dots \dots \text{式5.2}$$

$S_{r0} \leq h < S_{r1}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{r2} * h - Q_0 \dots \dots \dots \text{式5.3}$$

$h \leq S_{r0}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{r2} * h \quad \dots\dots\dots \text{式5.4}$$

R: 雨量 E_{ps} : 蒸発量 S_{r2} : 最大表面貯留高

S_{r1} : 早い中間流が発生する高さ S_{r0} : 窪地貯留高 Q_0 : 地下浸透量 Q_{sr} : 表面流出量

Q_{ri} : 早い中間流出量 h : 貯留高

5・3・2・2 不飽和帯モデル

水平方向の水分の移動は遅い中間流で、不飽和透水係数に比例し動水勾配が近似的に地形勾配に等しいとして流出量を計算する。地下水モデルへの補給量は不飽和透水係数に比例し、動水勾配を1として計算する。

不飽和透水係数と水分量の関係は多くの研究者が各種の式を提案している⁵⁾。本モデルでは数値計算を容易にするため水平方向の不飽和透水係数を式5.5、鉛直方向の不飽和透水係数を式5.6とした。

$$k_x = k_{sx} \frac{\exp \{ b (\theta - \theta_w) \} - 1}{\exp \{ b (\theta_s - \theta_w) \} - 1} \quad \dots\dots\dots \text{式5.5}$$

$$k_z = k_{sz} \frac{\exp \{ b (\theta - \theta_w) \} - 1}{\exp \{ b (\theta_s - \theta_w) \} - 1} \quad \dots\dots\dots \text{式5.6}$$

k_x : 水平方向の不飽和透水係数 k_{sx} : 水平方向の飽和透水係数 k_z : 鉛直方向の不飽和透水係数

k_{sz} : 鉛直方向の飽和透水係数 b : 定数 θ_s : 飽和水分量 θ_w : 最小水分量

本モデルでは不飽和帯モデルを、表面付近の比較的透水性の高い部分とその下の透水性の低い部分を対象にして2段の構造とした。上段のモデルは森林土壌のA層、下段のモデルはB層を想定している。A層は樹木の根等によって粗孔隙が多く浸透性に富む層である。B層はA層から溶脱した物質が沈着してA層より粗孔隙が少ない層である⁶⁾。連続式は以下のとおりである。

$h \geq S_{s2}$ の場合

飽和状態のため下流の表層モデルに流入させる。

$S_{s2} > h \geq S_{s1}$ の場合

$$\theta_s \frac{\partial h}{\partial t} = Q_{in} - E_{ps} - Q_0 - Q_{ri} \quad \dots\dots\dots \text{式5.7}$$

$h < S_{s1}$ の場合

$$\theta_s \frac{\partial h}{\partial t} = Q_{in} - E_{ps} / S_{s1} * h \quad \dots\dots\dots \text{式5.8}$$

S_{s2} : 飽和状態の貯留高 S_{s1} : 最小水分量に相当する貯留高 Q_{in} : 地下浸透量(表層モデルからの流入) E_{ps} : 蒸発量 Q_0 : 地下水供給量 Q_{ri} : 遅い中間流出量 h : 貯留高 θ_s : 飽和水分量

5・3・2・3 地下水モデル

地下水の流出は下段の穴が被圧地下水の流出として貯留高に比例し、上段の穴が不圧地下水の流出として貯留高の2乗に比例する⁷⁾と考える。連続式は以下のとおりである。

$h \geq S_0$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = Q_{in} - Q_{o1} - Q_{o2} \quad \dots\dots\dots \text{式5.9}$$

$h < S_0$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = Q_{i1} - Q_{o2} \quad \dots\dots\dots \text{式5.10}$$

Q_{i1} : 地下水補給量 (不飽和帯モデルからの流入) Q_{o1} : 不圧地下水流出量

Q_{o2} : 被圧地下水流出量 h : 貯留高 S_0 : 不圧地下水が発生する高さ

5・3・2・4 河道モデル

河道モデルの構造は流出がManningの式に従うものとする。河道勾配は標高メッシュデータから推定できるので河道幅が決まればモデルが作成できる。本モデルでは河道幅を近似的に流域面積の関数として与える。レジューム理論⁹⁾として $B = a Q^b$ (Q : 流量, a, b : 定数) の関係を前提に、多くの研究者が定数を検討している。この成果を利用して流量が流域面積に比例するとすれば式5.11のように河道幅は流域面積の関数として表せる。

$$B = c A^s \quad \dots\dots\dots \text{式5.11}$$

ここに B : 川幅(m) A : 流域面積(km²) c, s : 定数

5・3・3 計算方法

流出モデルの実用性を考えれば、日単位の計算では計算標準時間 (δt) を1日、時間単位の計算では1時間が望ましい。差分法を用いると計算の安定性から δt を非常に短くする必要がある。本モデルでは運動方程式の厳密な解を求めるよりも、モデルの実用性を考慮し近似式を用いた安定性のよい解法を選んだ。まず $h^{5/3}$ を $a h^2 + b h$ に近似して、(h : 水深、 a, b : 定数) さらにモデルへの降雨量・流入量を δt の間は一一定として基礎式を式5.12の形で表現する。

$$\frac{\delta h}{\delta t} = f(h) \quad \dots\dots\dots \text{式5.12}$$

$f(h)$: h の関数

式5.12を解析的に解いて式5.13のようにして計算する。

$$h_{n+1} = g(h_n, \delta t) \quad \dots\dots\dots \text{式5.13}$$

g : 関数 $n, n+1$: 時間を示す添字

たとえば、 $f(h) = a - b h$ (a, b : 定数) の場合は式5.14のとおりになる。

$$h_{n+1} = \{ a - (a - b h_n) \cdot \exp(-b \delta t) \} / b \quad \dots\dots\dots \text{式5.14}$$

5・3・4 パラメータの設定方法

図5.5に示したとおり、本モデルには23のパラメータがある。

表層モデルは A_0 層と表面を想定しているので、 A_0 層の土壌特性でパラメータが決定される。 S_{r2} は A_0 層厚、 S_{r0} は降雨の初期損失で決定され、 N は等価粗度法で調べられている一般的な値が適用できる。 f_0 は現地の透水試験の結果より推定が可能である。残りの S_{r1} 、 α_{r1} は現在のところ一義的に決定する手段がない。

不飽和帯タンクの上、下層は、それぞれA層、B層を想定している。 D は層厚、 K_z 、 θ_s 、 θ_w は一般的に言われている値が適用できるが、 K_x 、 b は現在のところ一義的に決定する手段がない。

地下水モデルの3パラメータは、流量減水部から決定できる。

河道モデルの2パラメータは、1ヶ所以上の河道幅がわかれば決定できる。

従って、7パラメータは、一義的に決定する手段がないく試行錯誤で決定する。

5・3・5 降雨分布の与え方

各メッシュに任意の降雨分布を入力することが可能であり、レーダ雨量をそのまま入力することでも

きる。

5・3・6 蒸発量

長期流出解析では、タンクモデル等と同様に実蒸発散量を差し引く必要がある。蒸発散量は年間の可能蒸発散量を計算し、年間の水収支が合うように補正する。

5・4 分布型流出モデルの適用

山口流域と祖父ヶ峰流域にモデルを適用した結果を以下に示す。

解析対象期間は、1983～1988年の6年間のデータを用い、この間の総降雨量100mm以上の7降雨を解析対象とした（表5.1、表5.2）。

5・4・1 モデル係数の同定

（1）流域モデル

標高メッシュデータは1/10000地形図をスキャンし自動作成する方法により作製した。この時、メッシュ間隔の設定が問題となる。細かくすれば流域を詳細に表現できるがその反面、計算時間が長くなってしまう。メッシュ間隔10、20、30、40、50mで作製した落水線図を図5.6に示す。図より50mメッシュでも流域形状が概ね表現できていることから、山口流域ではメッシュ間隔を50mで祖父ヶ峰流域では流域面積が小さいことからメッシュ間隔10mにより作製した。

疑似河道網図は、現地の河道状態にそうようにしきい値を設定し山口流域では表面流・中間流が河道に流入するしきい値を3、地下水が流入するしきい値を15とし、祖父ヶ峰流域では表面流・中間流が河道に流入するしきい値を5、地下水が流入するしきい値を85とし作成した。計算に用いた落水線図及び疑似河道網図は図5.2、図5.3に示したとおりである。

（2）流出モデルの構成

流出モデルは流域の地質状況に沿った構成にする必要がある。祖父ヶ峰流域において行った表層部簡易ボーリング試験の結果より、腐葉土層、表土とレキ、風化花崗岩、花崗岩の順に構成されていることが分かっている。そこで、腐葉土層を表層モデルで、表土とレキを不飽和帯モデルで、風化花崗岩以深を地下水モデルで表現をした。また、表土とレキ層は上部が柔らかく、下部は割と締まった構造となっていることから不飽和帯モデルは2段にした。

（3）モデル係数の決定

モデル係数は、土質試験によりある程度推定が可能なもの、流量遅減部より推定が可能なもの、一般的に用いられている値より推定が可能なもの、それ以外に分かれる。

表層モデルの最終浸透能は、現地の土壌を採取し室内実験を行った透水試験の結果より $k = 1.7 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ を得ているのでこれを参考に値を決定した。

表層モデルの係数 N は表層の粗度係数である。これとよく似たものに等価粗度法の等価粗度係数がある。係数 N は等価粗度係数と同質のものと考えてよい。土壌の表面の雑草を考慮すると N は 10^{-1} のオーダーとした。

不飽和帯モデルの鉛直方向の透水係数は、表層モデルの最終浸透能同様、透水試験の結果より $1.7 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ を参考に値を決定した。

不飽和帯モデルの飽和水分量と最終水分量の値も土質試験の結果より推定できる。土質試験の結果飽和水分量は0.6程度であった。また、最小水分量として土壌水分が飽和状態から約1日後の排水値を採用するとして、 $pF 2.7$ 程度の水分量を用いればよい。土質試験の結果 $pF 2.7$ 程度の水分量は0.2～0.3程度であったので、これを参考に最小水分量を設定した。

地下水モデルの定数AU、Sgは低水流量の遞減曲線より推定を行った。

上記以外の定数については現地の状況を踏まえできるだけ実際の土質状態、流出状態にそうよう、若干の試行錯誤により決定した。表5.3にモデル係数を示す。

5.4.2 計算結果

(1) 日単位の流出計算結果

日単位の流出計算結果を示す。蒸発量はHamonの式で計算した月別の可能蒸発散量に係数をかけて使用する。係数は損失降雨と可能蒸発散量との比とし、1984～1988年の5年間のデータを用いて算定した。

① 山口蒸発係数

$$\frac{\text{5ヶ年の損失雨量 } 638 \text{ mm}}{\text{5ヶ年の可能蒸発散量 } 716 \text{ mm}} = 0.89$$

② 祖父ヶ峰蒸発係数

$$\frac{\text{5ヶ年の損失雨量 } 855 \text{ mm}}{\text{5ヶ年の可能蒸発散量 } 716 \text{ mm}} = 1.19$$

日単位で流出計算した結果は図5.7～5.8のとおりである1983年の3～5月の適合性が多少悪いが概ね良好な結果を得た。表5.4に年流出における実測値と計算値の比較を示す。

(2) 時間単位の流出計算

計算結果を図5.9～5.10に示す。どの流出についても概ね良い適合結果が得られた。

5.5 まとめ

流出機構及び地形をモデル化し土壌定数をパラメータとすることにより、流出を再現することができた。したがって、土地条件の改変による流出変化を、改変後の土壌定数を入力することにより予測が可能であり、従来の類似流域のパラメータを用いる方法に比べ信頼度の高い結果が期待できる。

参考文献

1. Abbott, M.B., Bathurst, J.C., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J.: An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically based distributed modeling system, Journal of Hydrology, Vol 87, pp 45～59, 1986.
2. 渡辺明英、日野幹雄：一般座標系を用いた3次元不飽和浸透流モデルによる流出解析、第31回水理講演会論文集、土木学会、pp.71～76、1987年2月
3. 高棹琢馬、椎葉充晴、張昇平：表面流、飽和・不飽和地中流相互干渉機構の分析モデル、京都大学防災研究所年報、第29号B-2、pp.253～269、1986年4月
4. 野上道男、杉浦芳夫：パソコンによる数値地理学演習、古今書院、pp.55～56、1986
5. 虫明巧臣、石崎勝義、吉野文雄、山口高志：水環境の保全と再生、山海堂、pp.84～90、1987年10月
6. 中野秀章：森林水文学、共立出版、pp.39～48、1976年7月
7. 安藤義久、虫明巧臣：丘陵地の自然状態の小試験流域における水循環機構、第24回水理講演会論文集、土木学会、pp.71～78、1980年2月
8. 高山茂美：河川地形、共立出版、pp.176～193、1974年6月

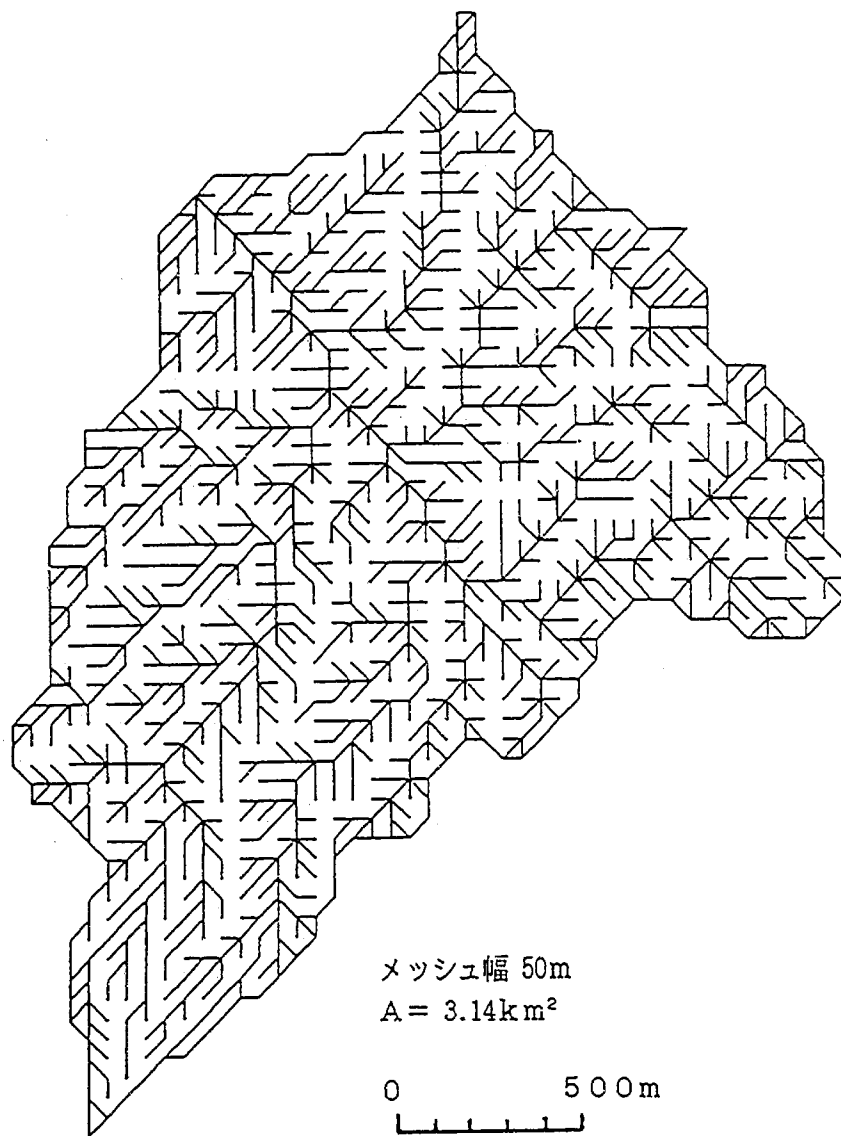


図 5.2 (1) 山口落水線図

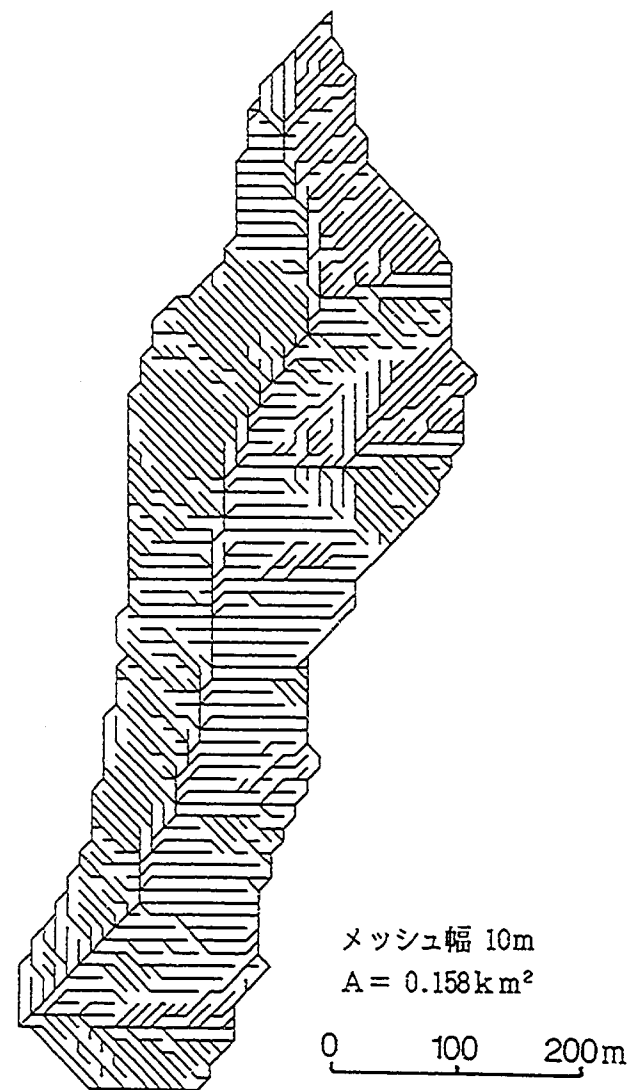


図 5.2 (2) 祖父ヶ峰落水線図

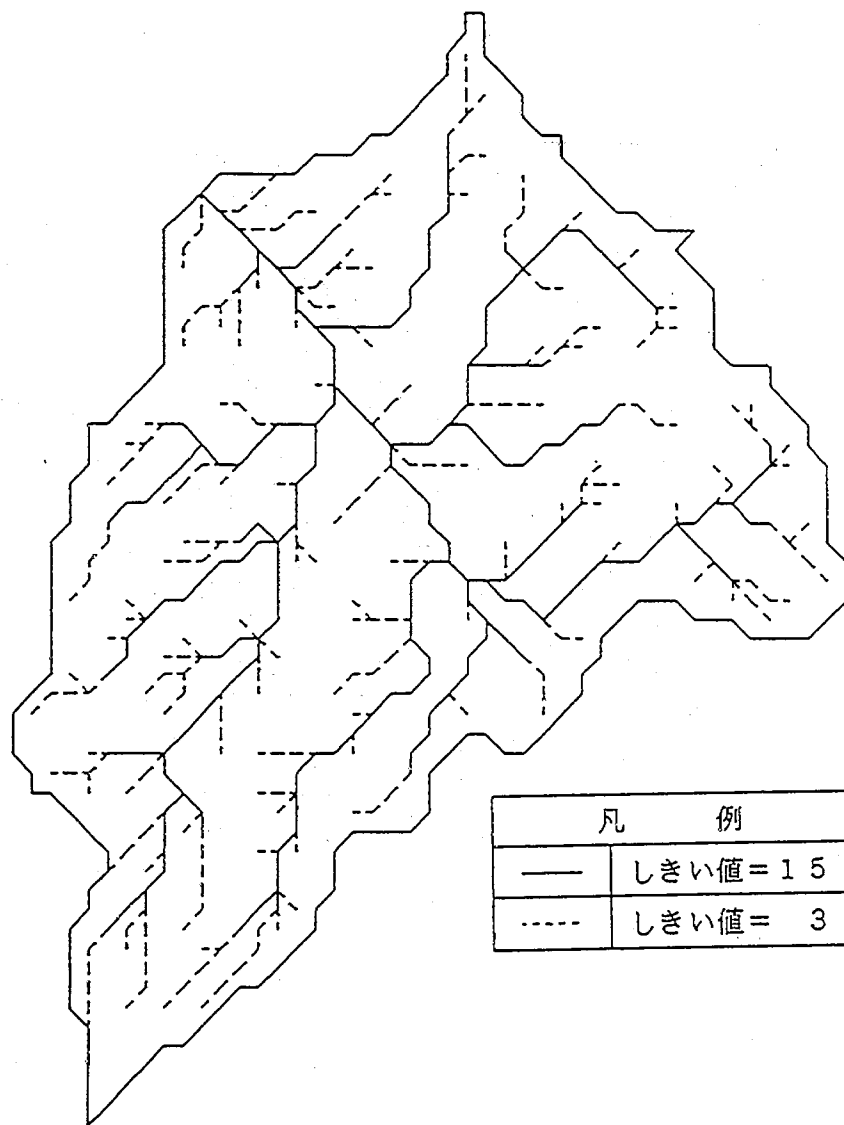


図 5.3 (1) 山口疑似河道網図

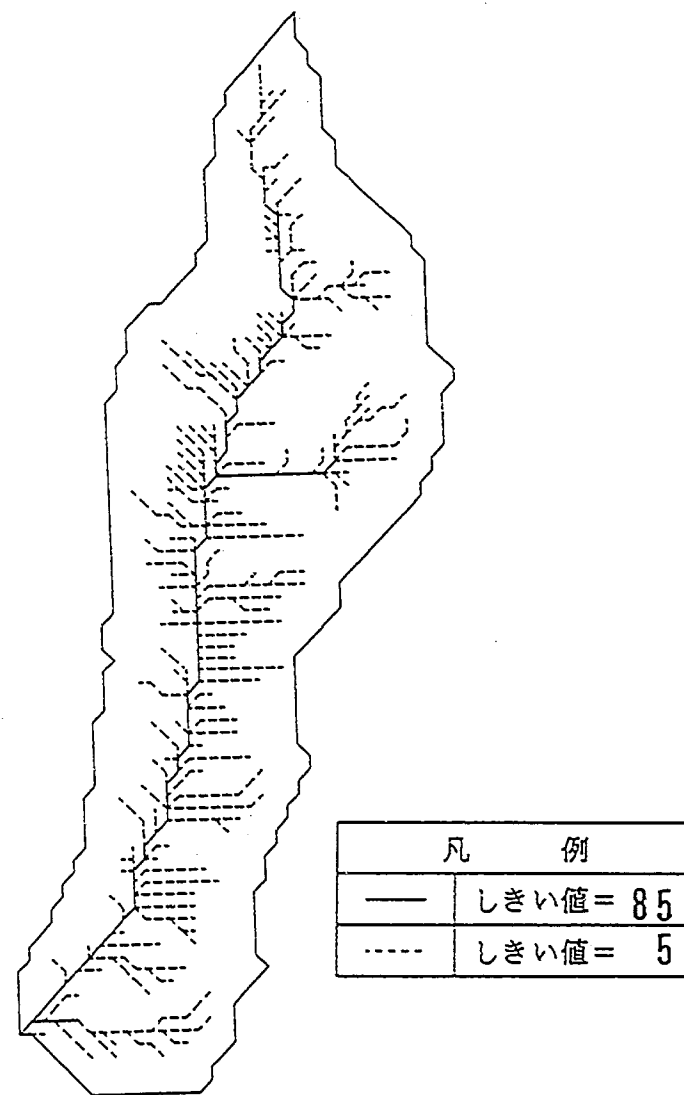


図 5.3 (2) 祖父ヶ峰疑似河道網図

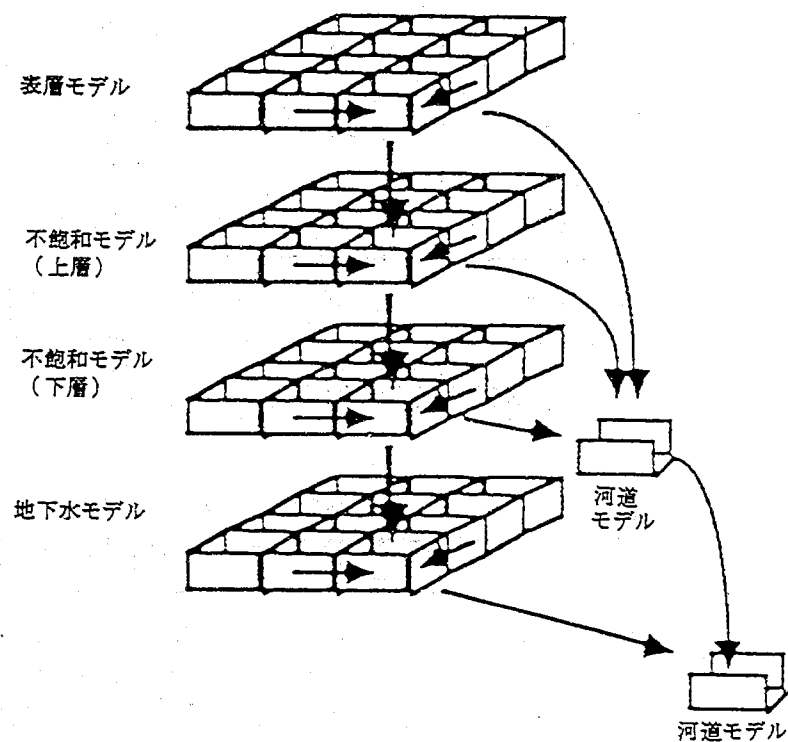


図 5.4 モデル概念図

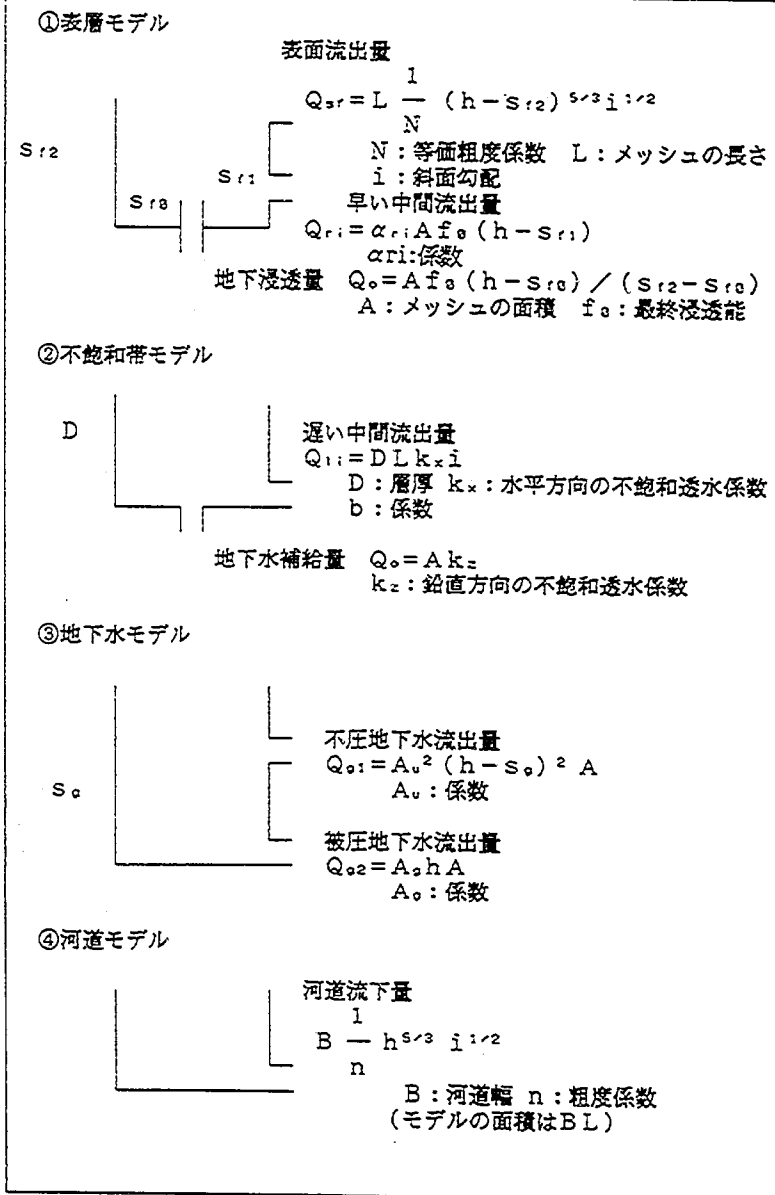


図 5.5 モデルの構造図

表 5.1 (1) 流域平均雨量と年流出高 (山口) 単位mm

年	流域平均雨量	流出高	損失雨量	可能蒸発散量
1983	1369	—	—	706
1984	1001	560	441	705
1985	1638	787	851	732
1986	1429	811	618	692
1987	1119	531	588	737
1988	1755	1064	691	715
平均	1388	751	638	716

注) 流域平均雨量は祖父ヶ峰、土俵場雨量観測所を用いた。

平均値は1984～1988年の5年間平均

表 5.1 (2) 流域平均雨量と年流出高 (祖父ヶ峰) 単位mm

年	流域平均雨量	流出高	損失雨量	可能蒸発散量
1983	1323	—	—	706
1984	988	363	625	705
1985	1626	573	1053	732
1986	1443	582	861	692
1987	1070	315	755	737
1988	1743	761	982	715
平均	1374	519	855	716

注) 流域平均降雨は祖父ヶ峰雨量観測所による。

平均値は1984～1988年の5年間平均

表 5.2 (1) 解析対象洪水 (山口)

番号	洪水発生 年月日	総雨量 (mm)	直接流出高 (mm)	流出率	ピーク流量 (m³/s)
1	1985.6.29	137.7	27.8	0.20	1.410
2	1985.7.21	95.4	10.3	0.11	2.010
3	1985.8.30	94.1	7.8	0.08	0.885
4	1986.5.14	91.2	9.1	0.10	0.898
5	1986.8.3	306.0	60.0	0.20	4.212
6	1986.9.1	95.5	9.3	0.10	0.484
7	1988.9.23	166.5	29.1	0.17	1.892

表 5.2 (2) 解析対象洪水 (祖父ヶ峰)

番号	洪水発生 年月日	総雨量 (mm)	接流出高 (mm)	流出率	ピーク流量 (m³/s)
1	1985.6.29	138.5	22.8	0.16	0.054
2	1985.7.21	87.0	7.4	0.09	0.099
3	1985.8.30	97.5	7.6	0.08	0.034
4	1986.5.14	95.0	8.0	0.08	0.043
5	1986.8.3	304.5	46.1	0.15	0.166
6	1986.9.1	95.0	9.2	0.10	0.020
7	1988.9.23	152.0	26.8	0.18	0.070

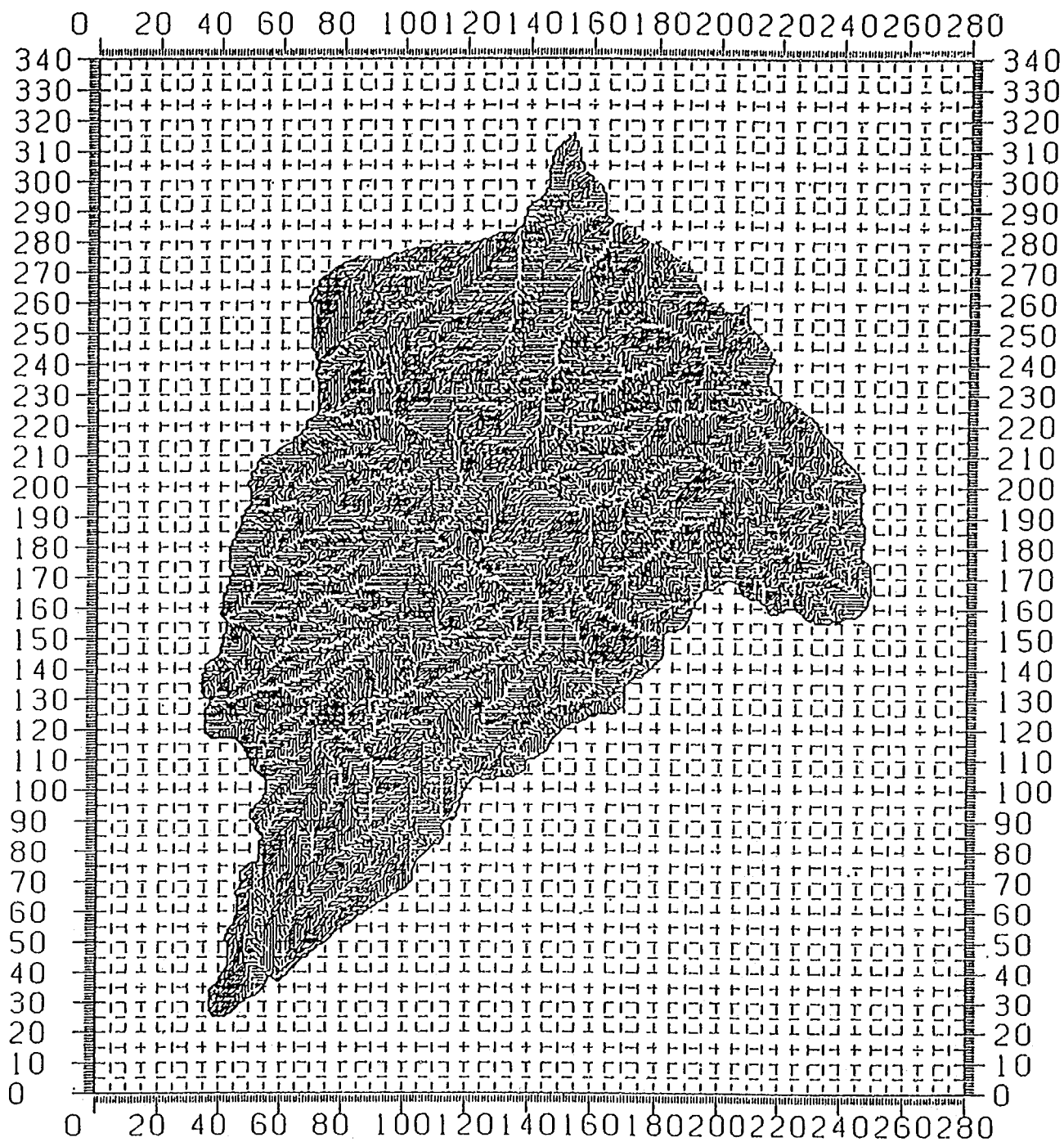


図 5.6 (1) 山口 落水線図 (メッシュ間隔 10m)

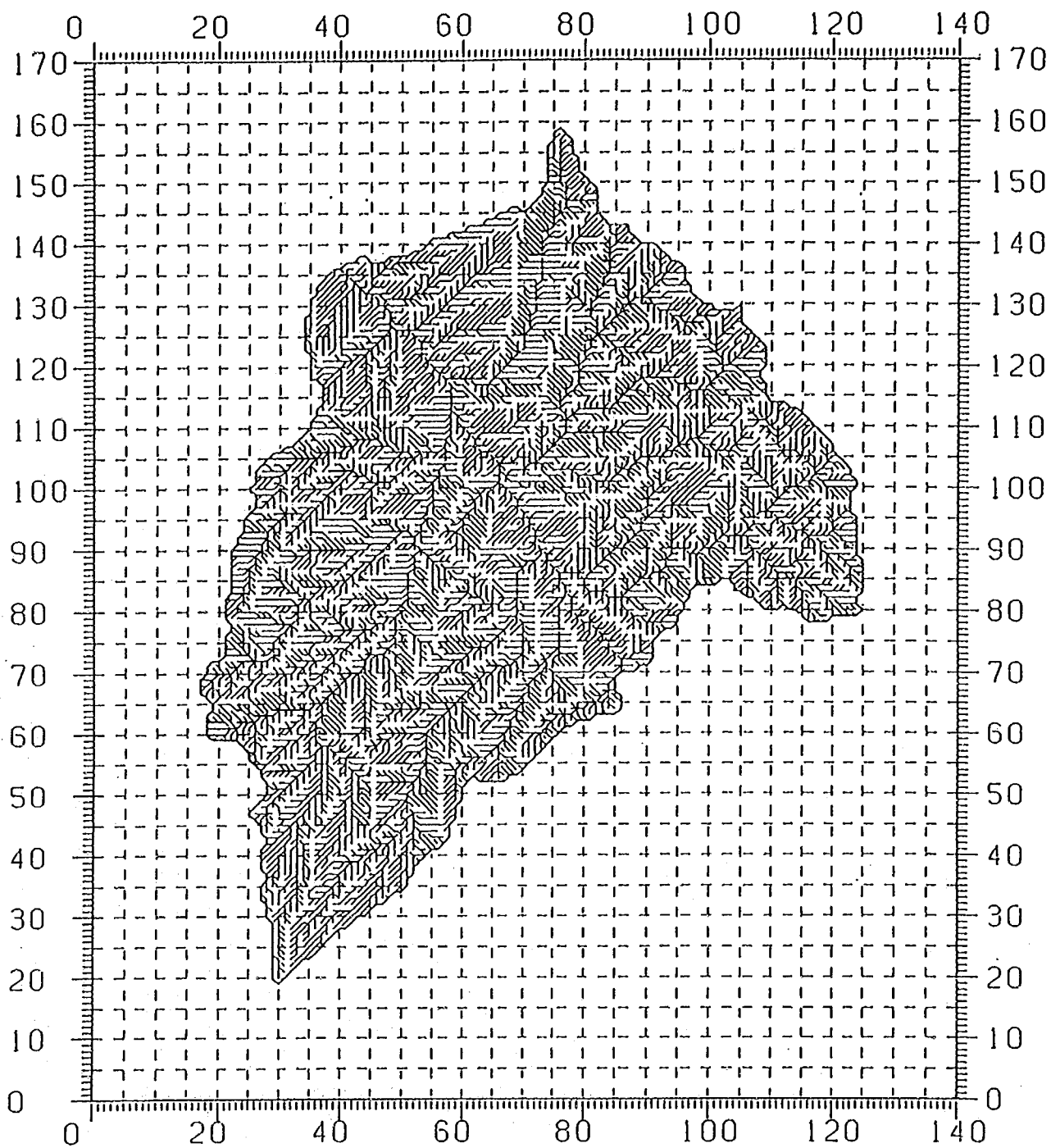


図 5.6 (2) 山口 落水線図 (メッシュ間隔 20 m)

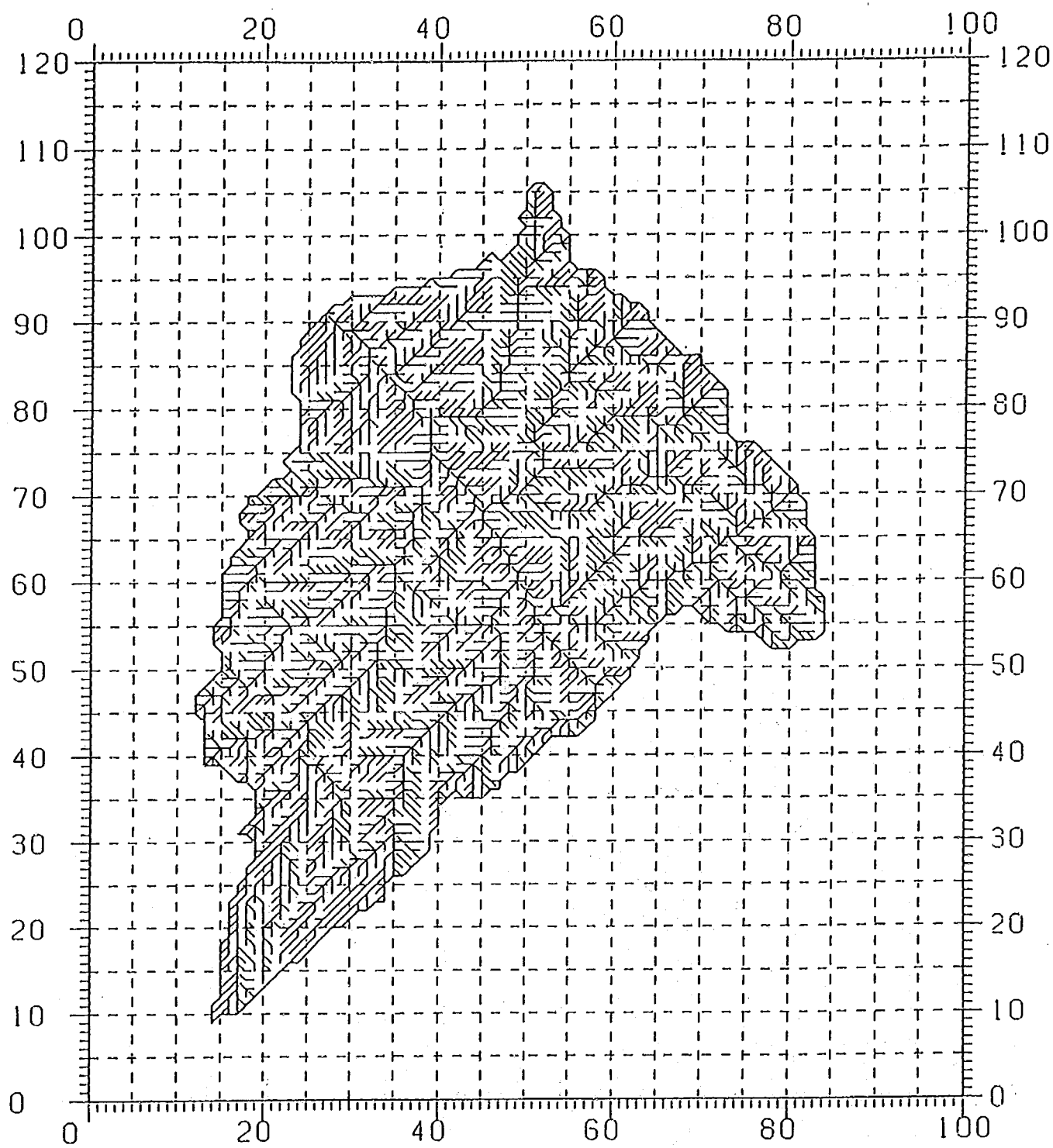


図 5.6 (3) 山口 落水線図 (メッシュ間隔 30 m)

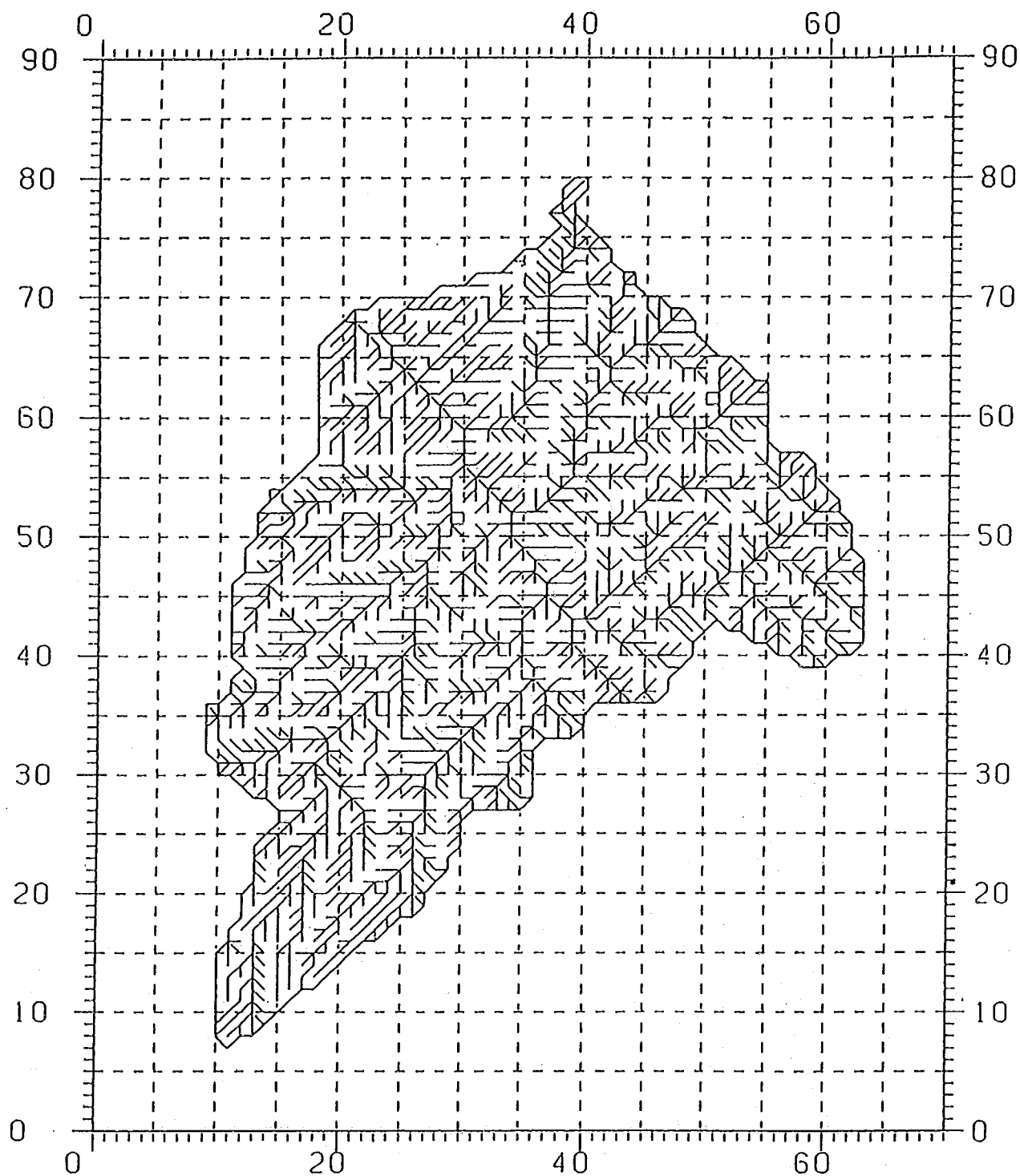


図 5.6 (4) 山口 落水線図 (メッシュ間隔 40 m)

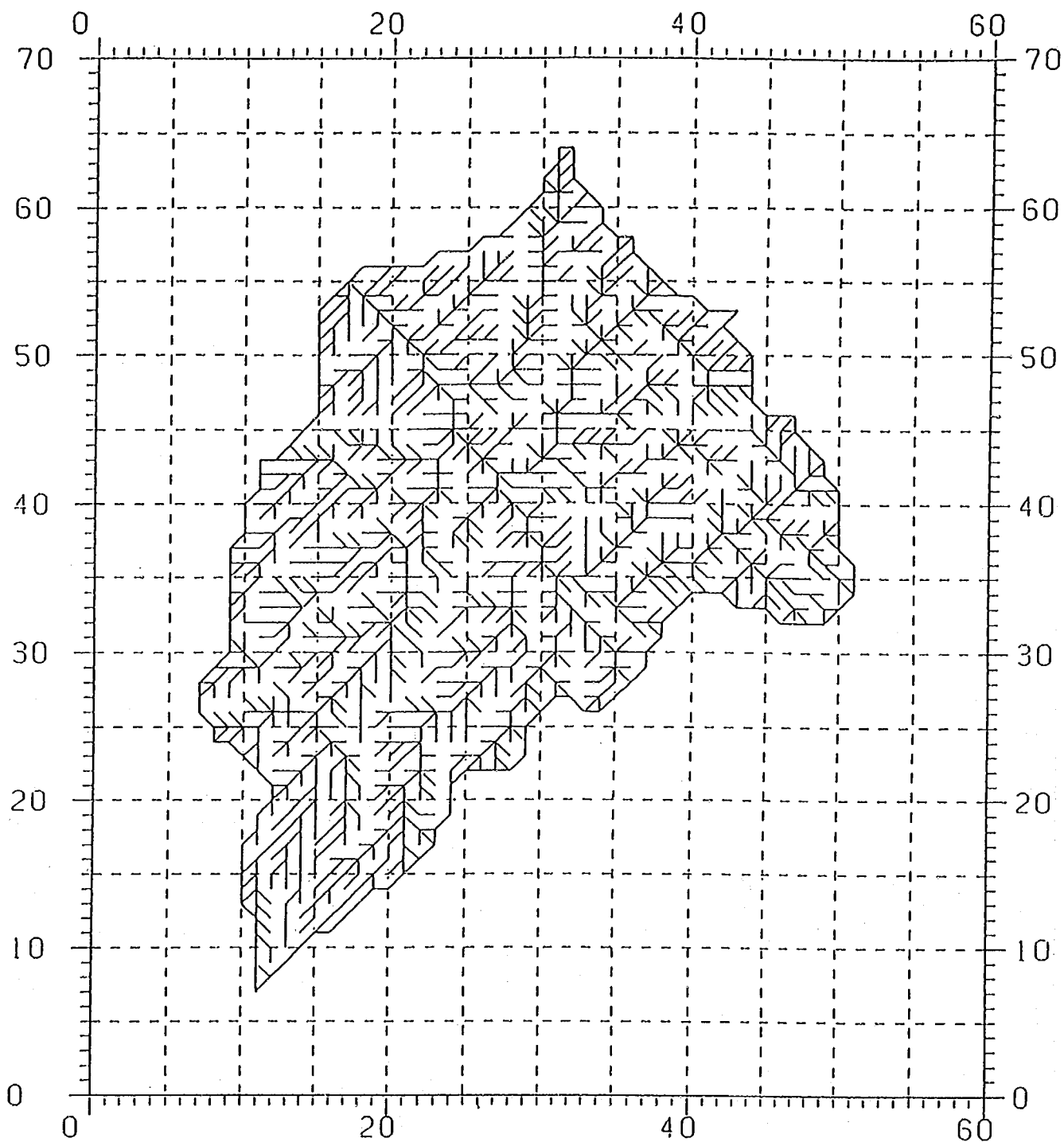


図 5.6 (5) 山口 落水線図 (メッシュ間隔 50 m)

表 5.3 (1) 山口モデル定数

モデル		定 数	
表層 モデル		$s_{r2}(\text{mm})$	10
		$s_{r1}(\text{mm})$	5
		$s_{r0}(\text{mm})$	5
		$f0(\text{mm/hr})$	108
		α_{ri}	0.12
		$N(\text{m}^{-1/3}\text{s}^{-1})$	0.6
不飽和帯 モデル	上段モデル	$D(\text{mm})$	300
		$k_x(\text{cm/s})$	4.0×10^{-1}
		$k_z(\text{cm/s})$	2.0×10^{-3}
		θ_s	0.6
		θ_w	0.2
		b	20
	下段モデル	$D(\text{mm})$	800
		$k_x(\text{cm/s})$	4.0×10^{-2}
		$k_z(\text{cm/s})$	1.0×10^{-3}
		θ_s	0.6
		θ_w	0.3
		b	20
地下水 モデル		$s_g(\text{mm})$	600
		$A_v^2(1/\text{mm/day})$	0.0001
		$A_g(1/\text{day})$	0.004
河道 モデル		c	5.6
		s	0.5

表 5.3 (2) 祖父ヶ峰モデル定数

モデル		定 数	
表層 モデル		$s_{r2}(\text{mm})$	10
		$s_{r1}(\text{mm})$	5
		$s_{r0}(\text{mm})$	5
		$f0(\text{mm/hr})$	108
		α_{ri}	0.12
		$N(\text{m}^{-1/3}\text{s}^{-1})$	0.6
不飽和帯 モデル	上段モデル	$D(\text{mm})$	300
		$k_x(\text{cm/s})$	5.0×10^{-2}
		$k_z(\text{cm/s})$	2.0×10^{-3}
		θ_s	0.6
		θ_w	0.2
		b	10
	下段モデル	$D(\text{mm})$	800
		$k_x(\text{cm/s})$	1.0×10^{-2}
		$k_z(\text{cm/s})$	5.0×10^{-4}
		θ_s	0.6
		θ_w	0.2
		b	10
地下水 モデル		$s_g(\text{mm})$	500
		$A_v^2(1/\text{mm/day})$	0.00017
		$A_g(1/\text{day})$	0.005
河道 モデル		c	2.51
		s	0.5

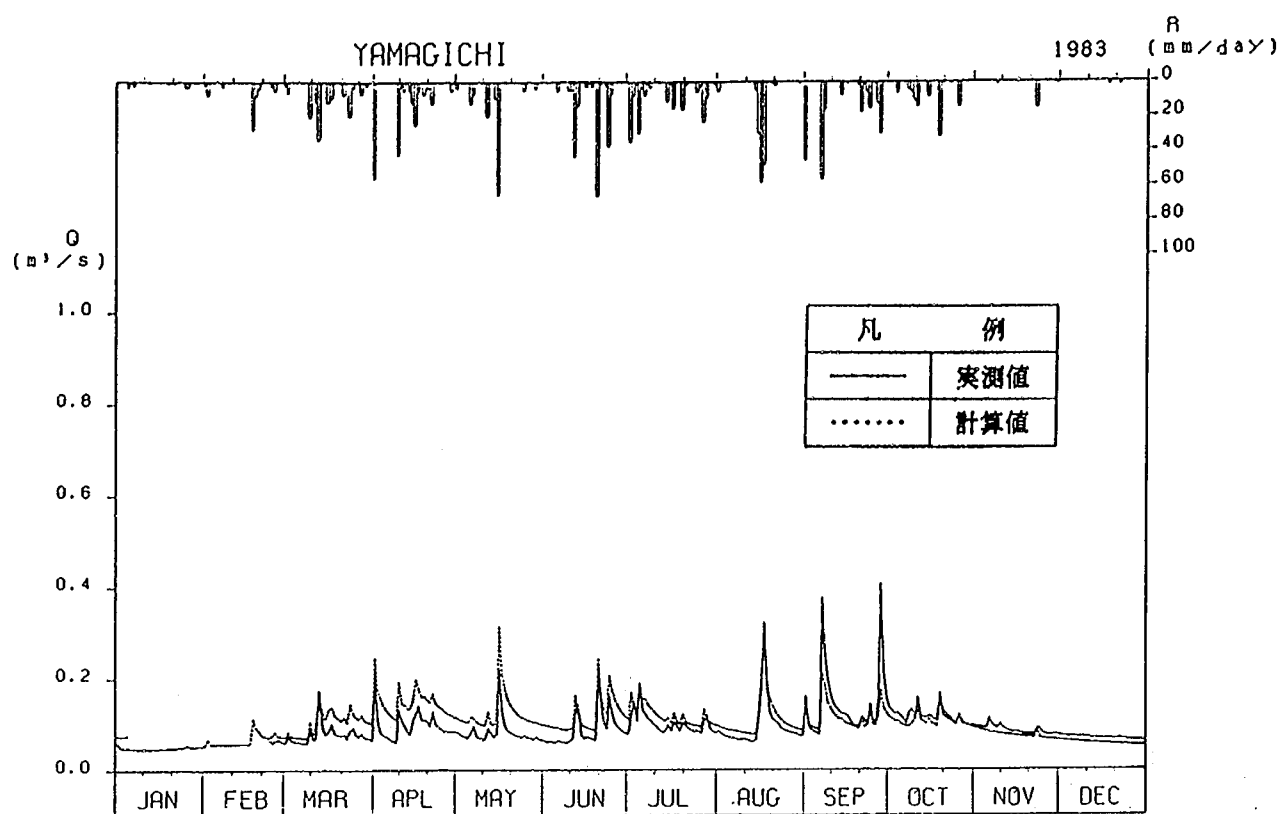


図 5.7 (1) 山口 日単位の流出解析結果 (1983年)

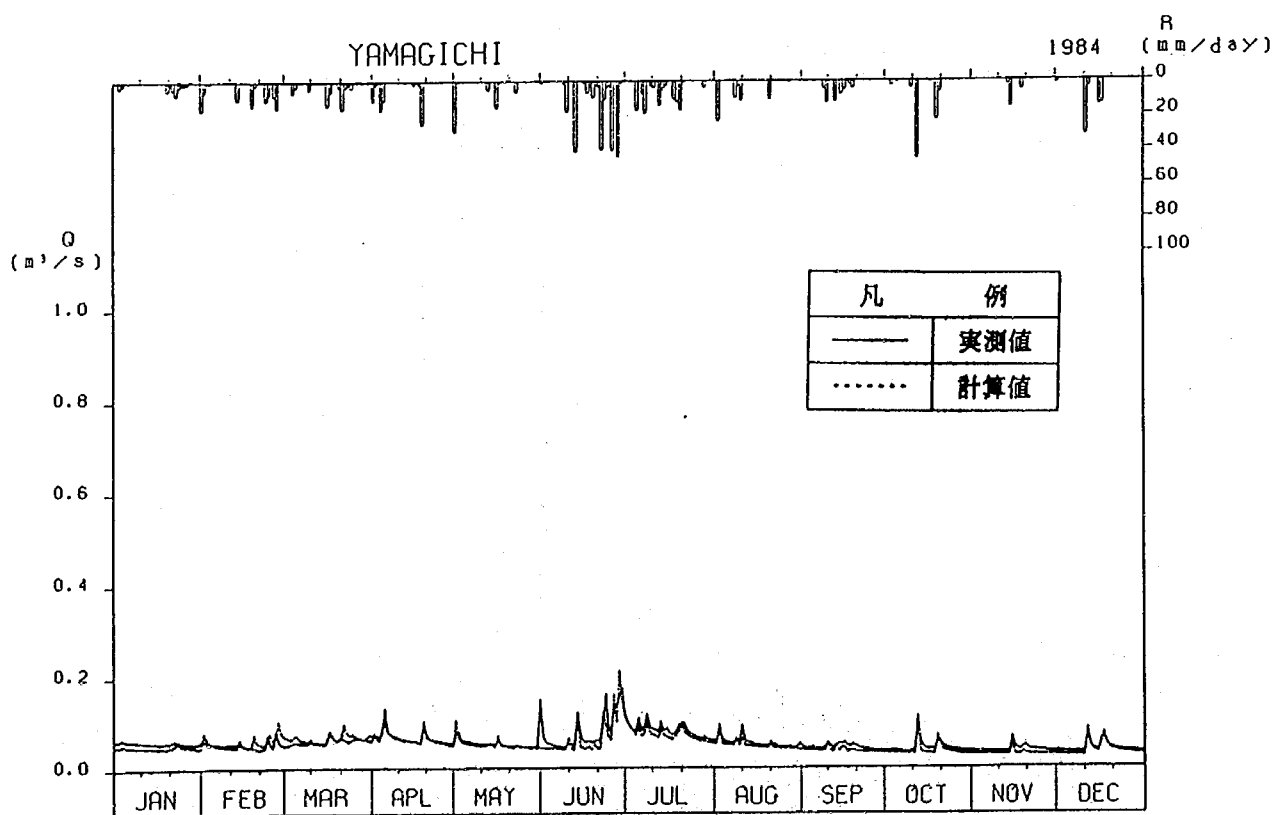


図 5.7 (2) 山口 日単位の流出解析結果 (1984年)

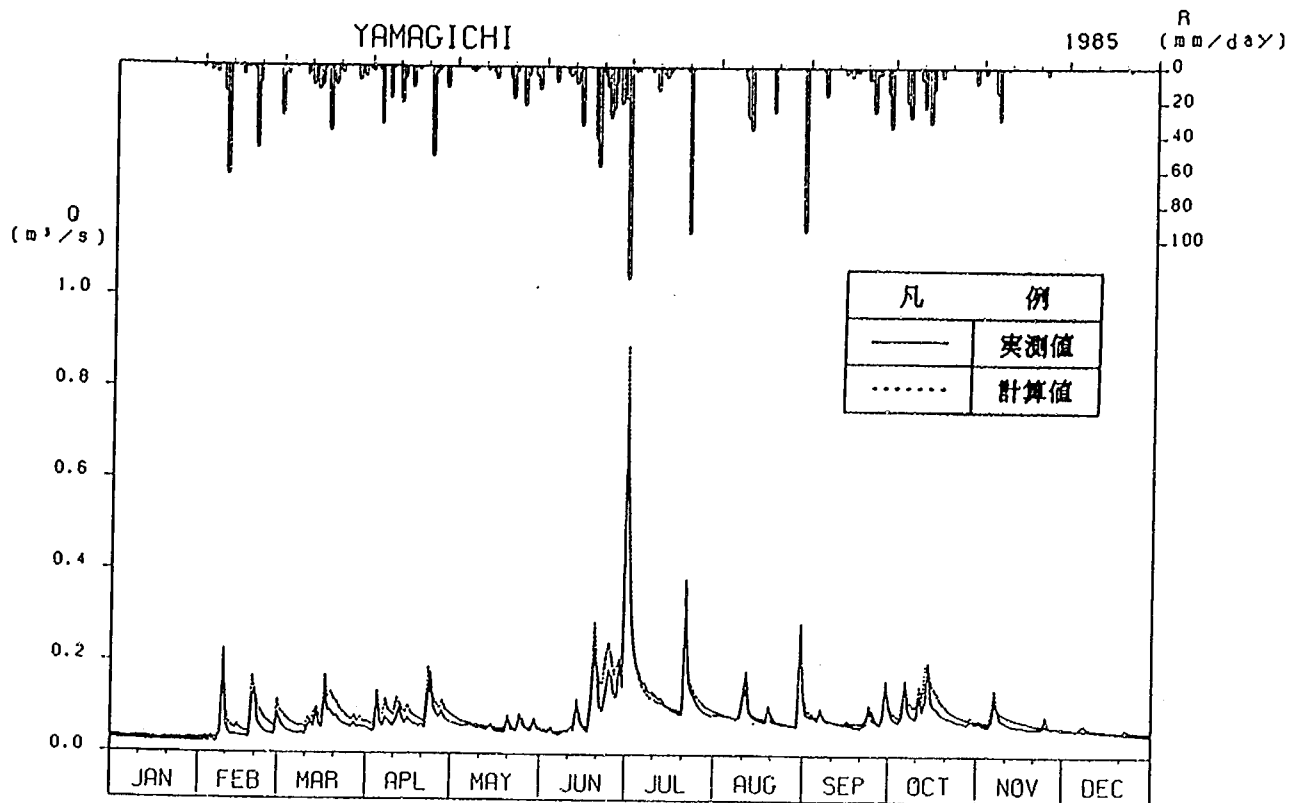


図 5.7 (3) 山口 日単位の流出解析結果 (1985年)

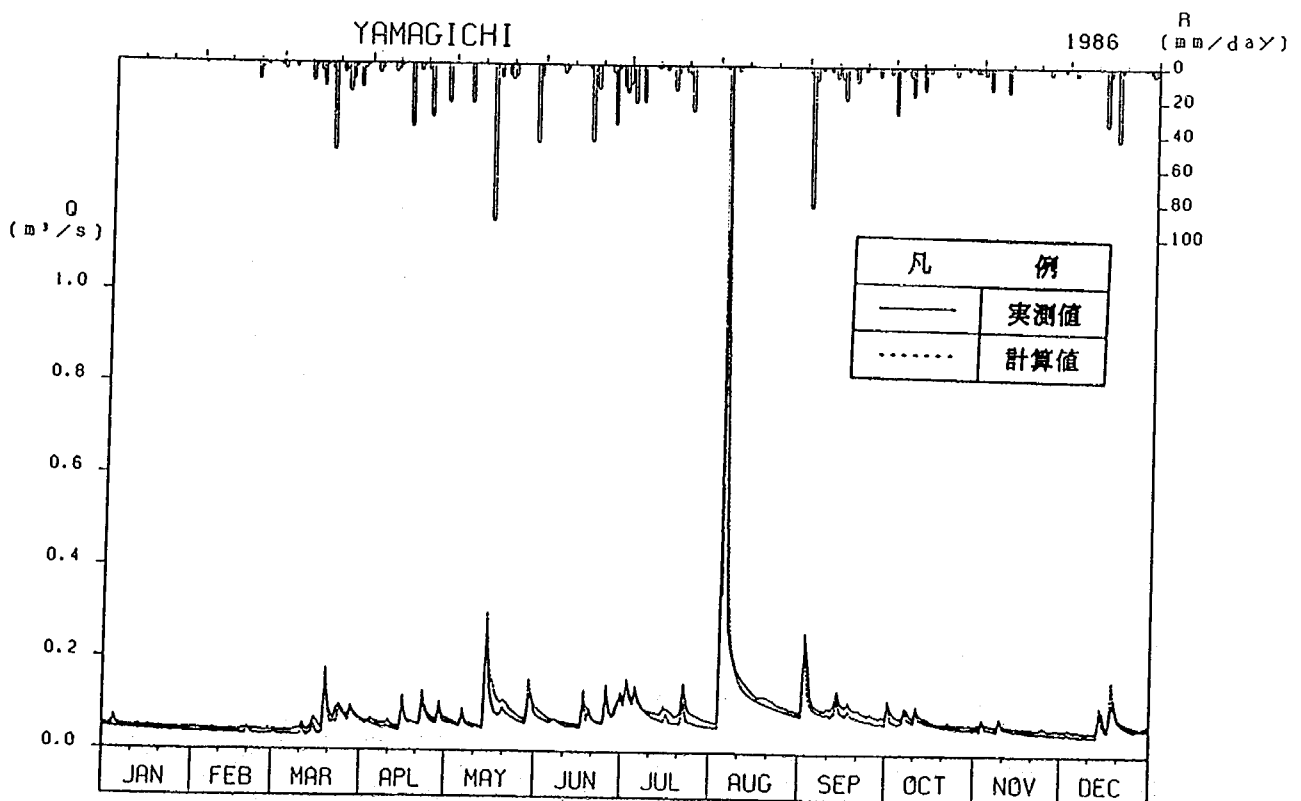


図 5.7 (4) 山口 日単位の流出解析結果 (1986年)

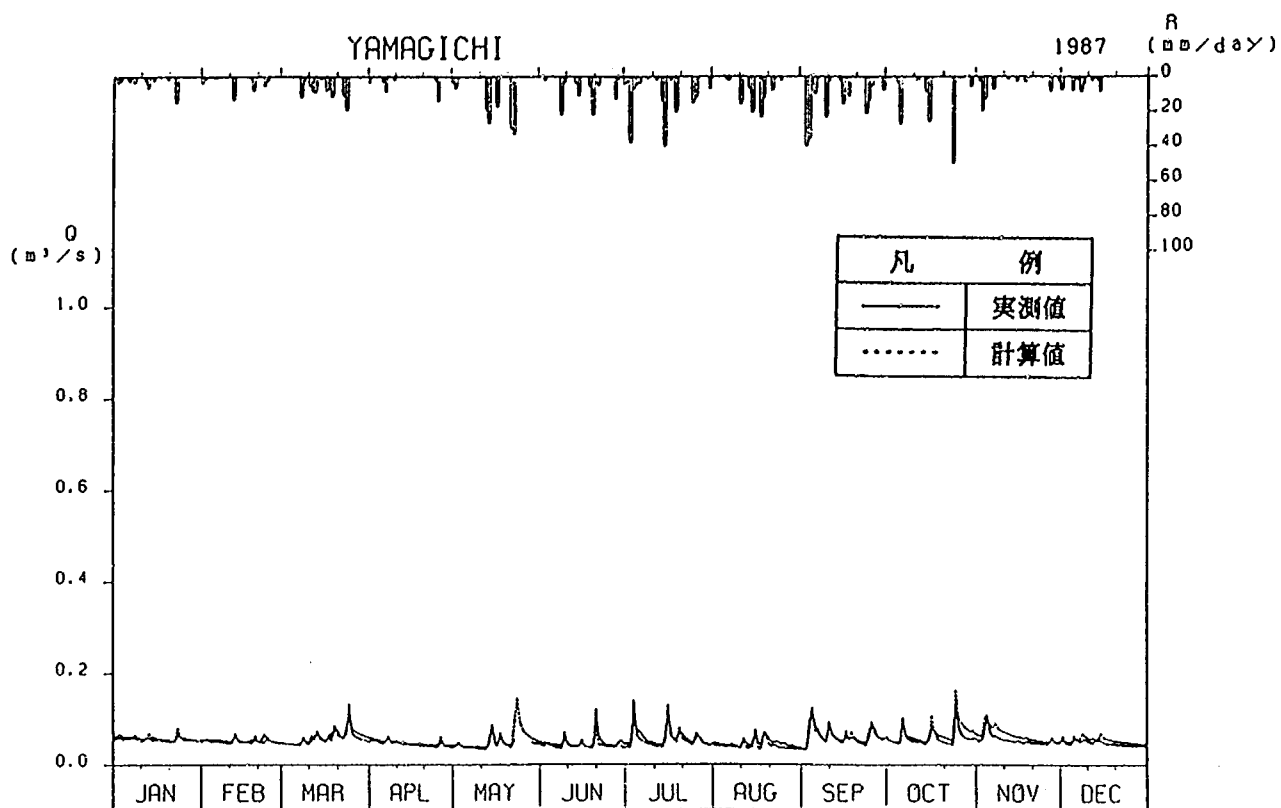


図 5.7 (5) 山口 日単位の流出解析結果 (1987年)

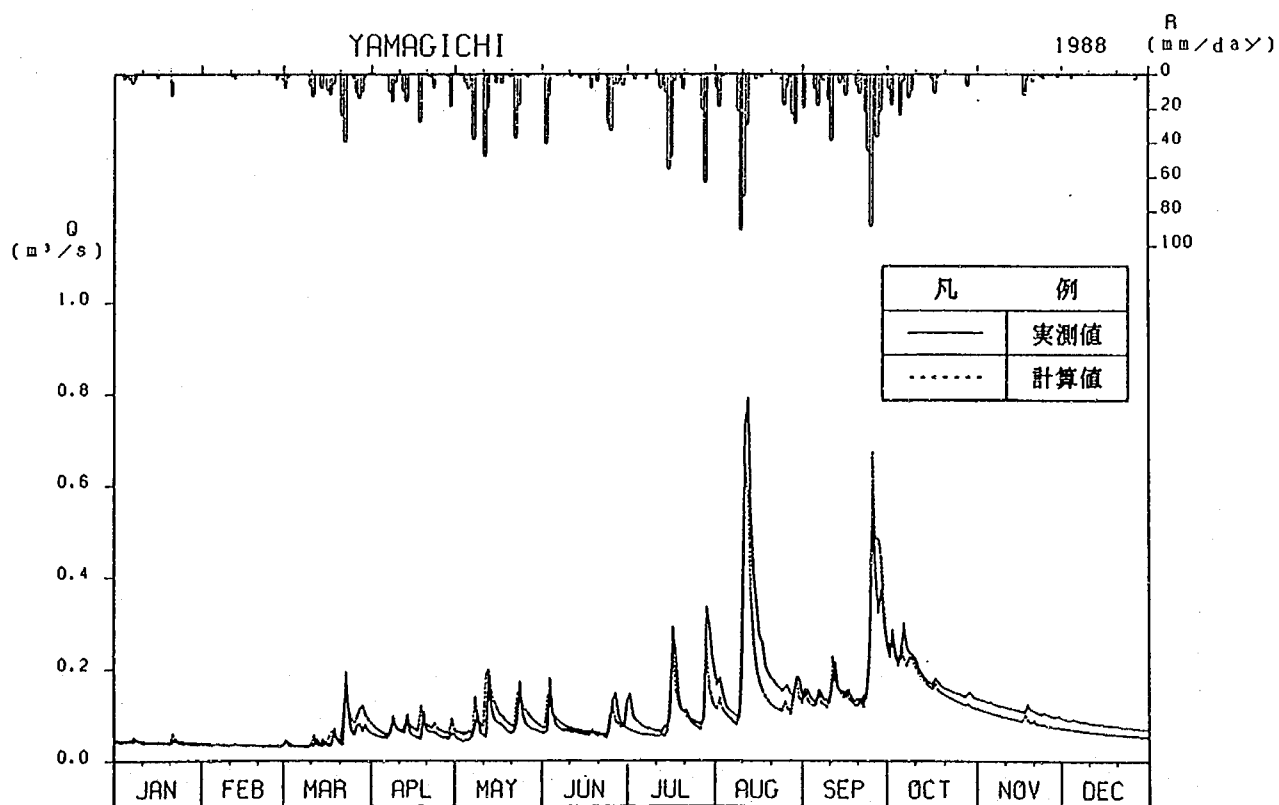


図 5.7 (6) 山口 日単位の流出解析結果 (1988年)

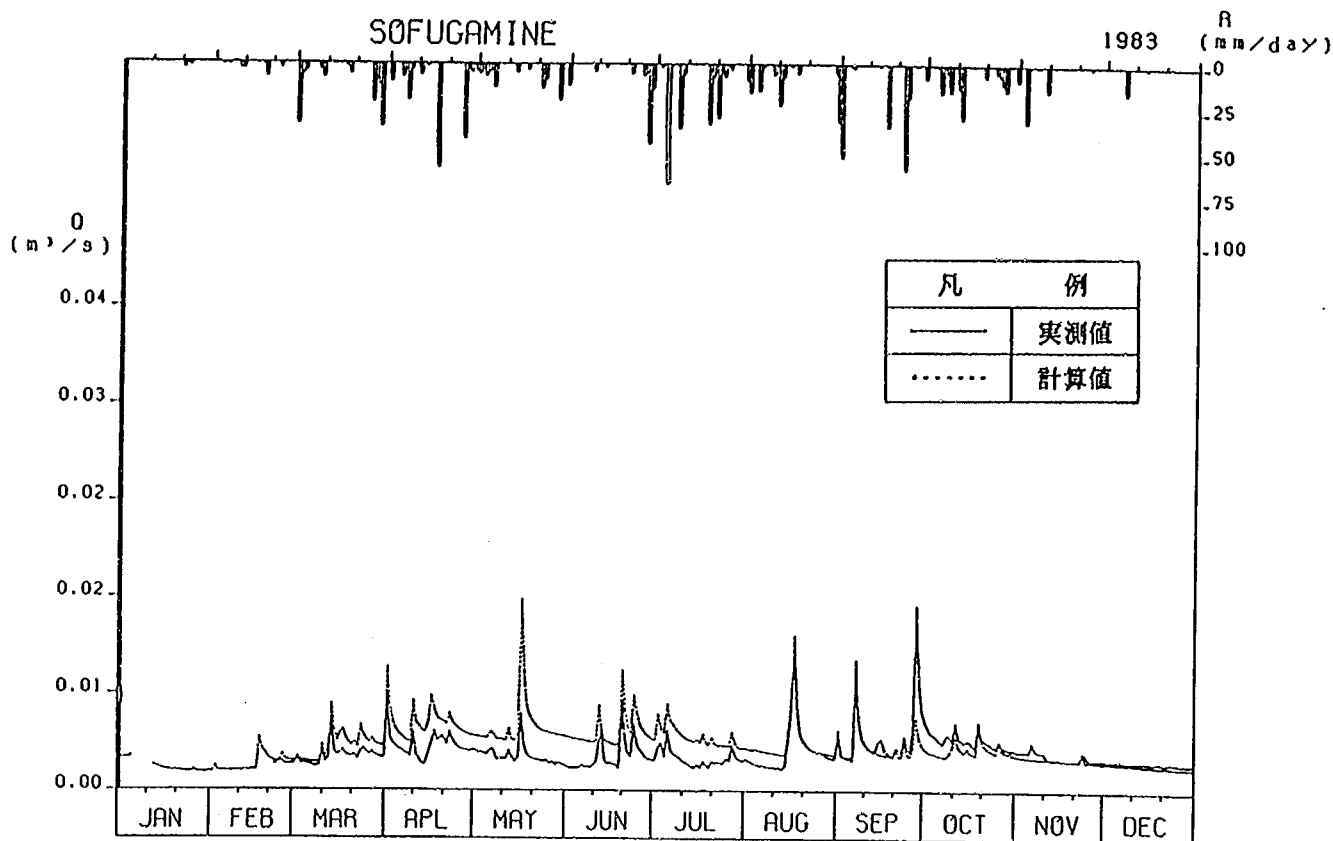


図 5.8 (1) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1983年)

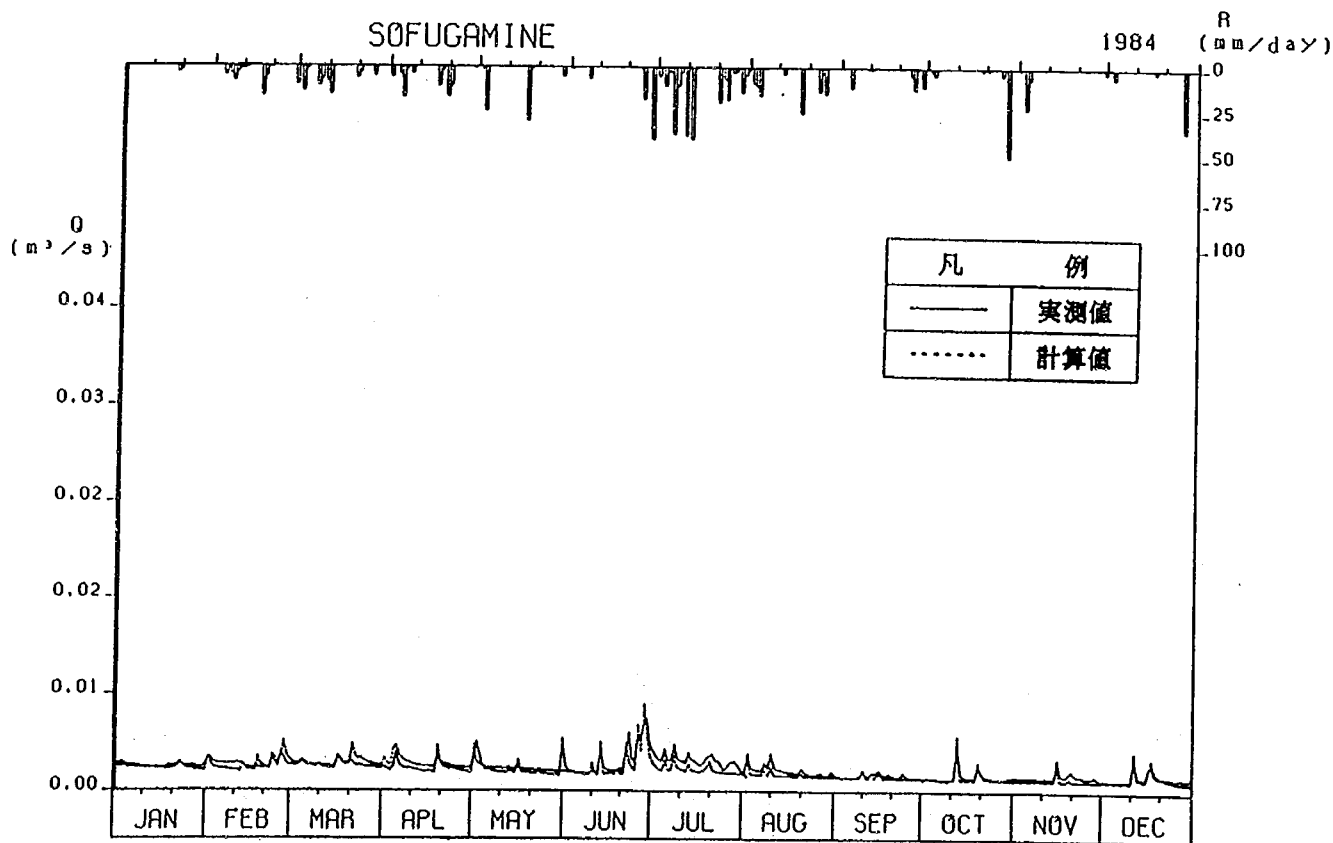


図 5.8 (2) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1984年)

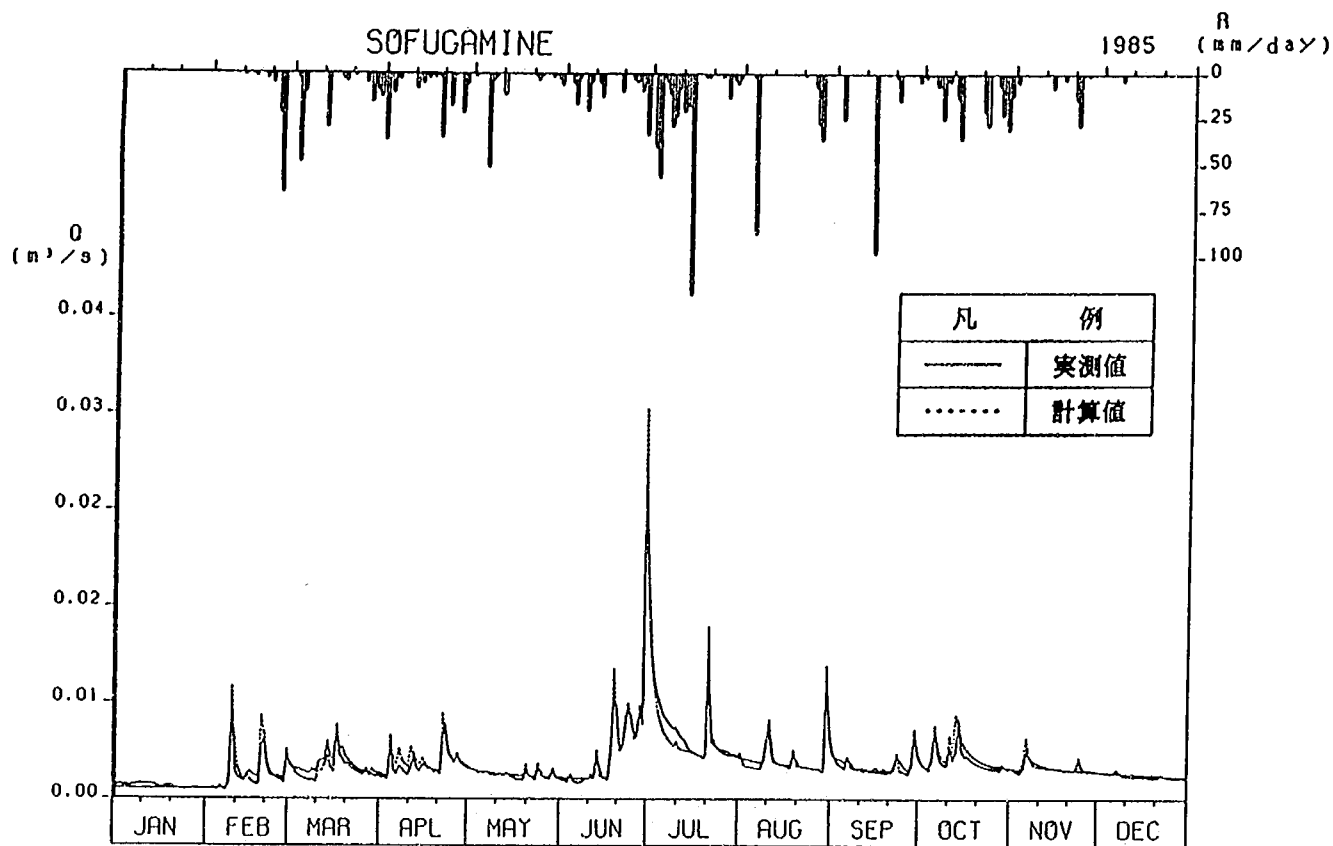


図 5.8 (3) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1985年)

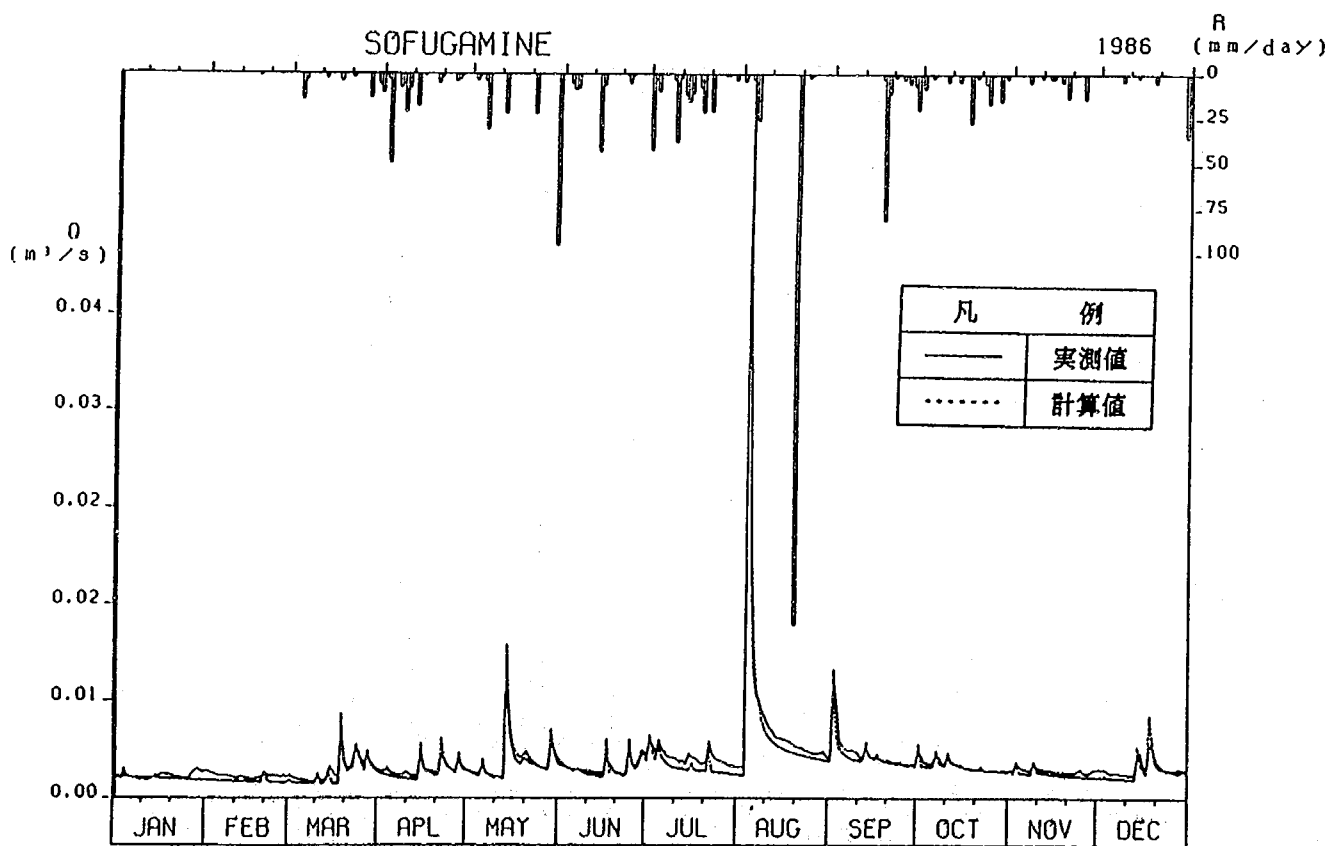


図 5.8 (4) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1986年)

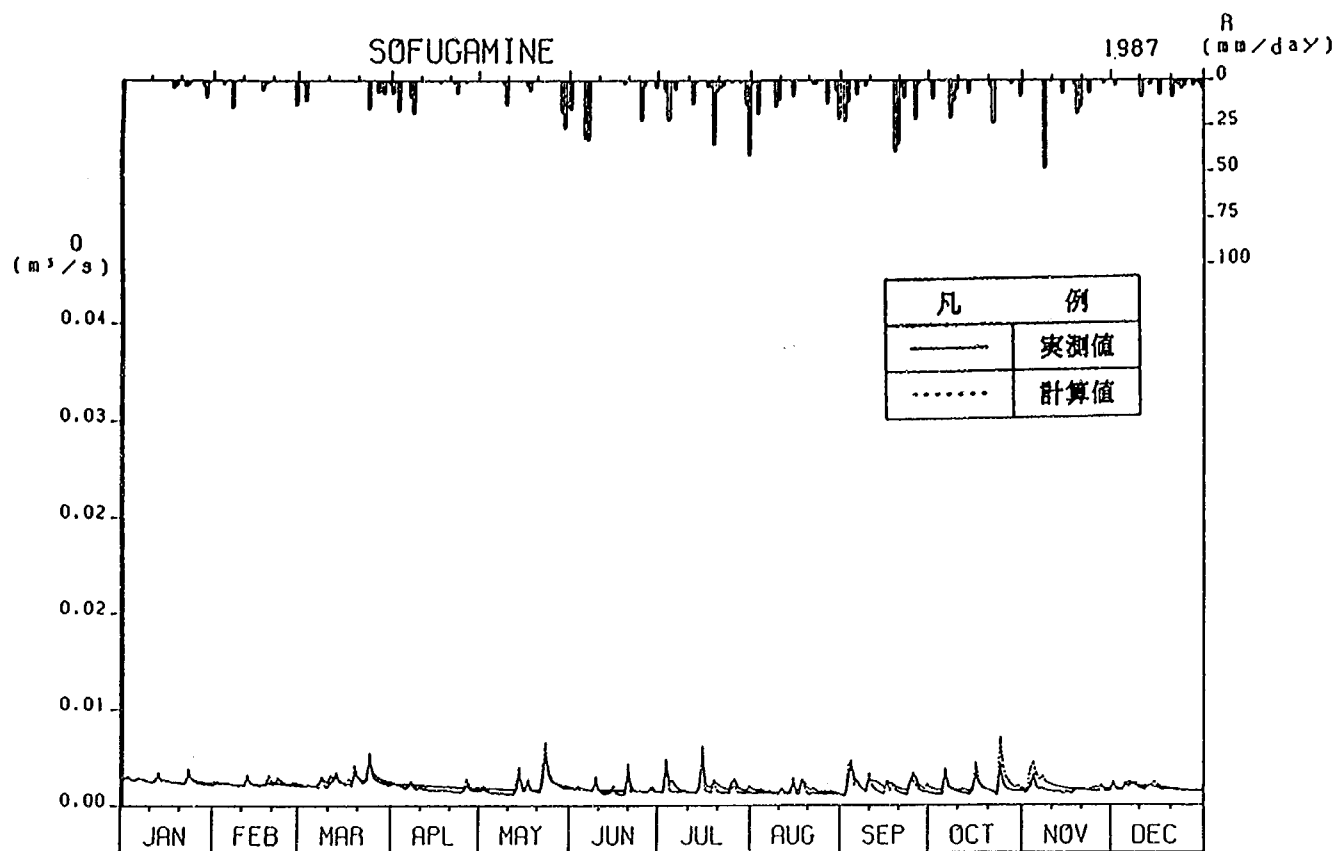


図 5.8 (5) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1987 年)

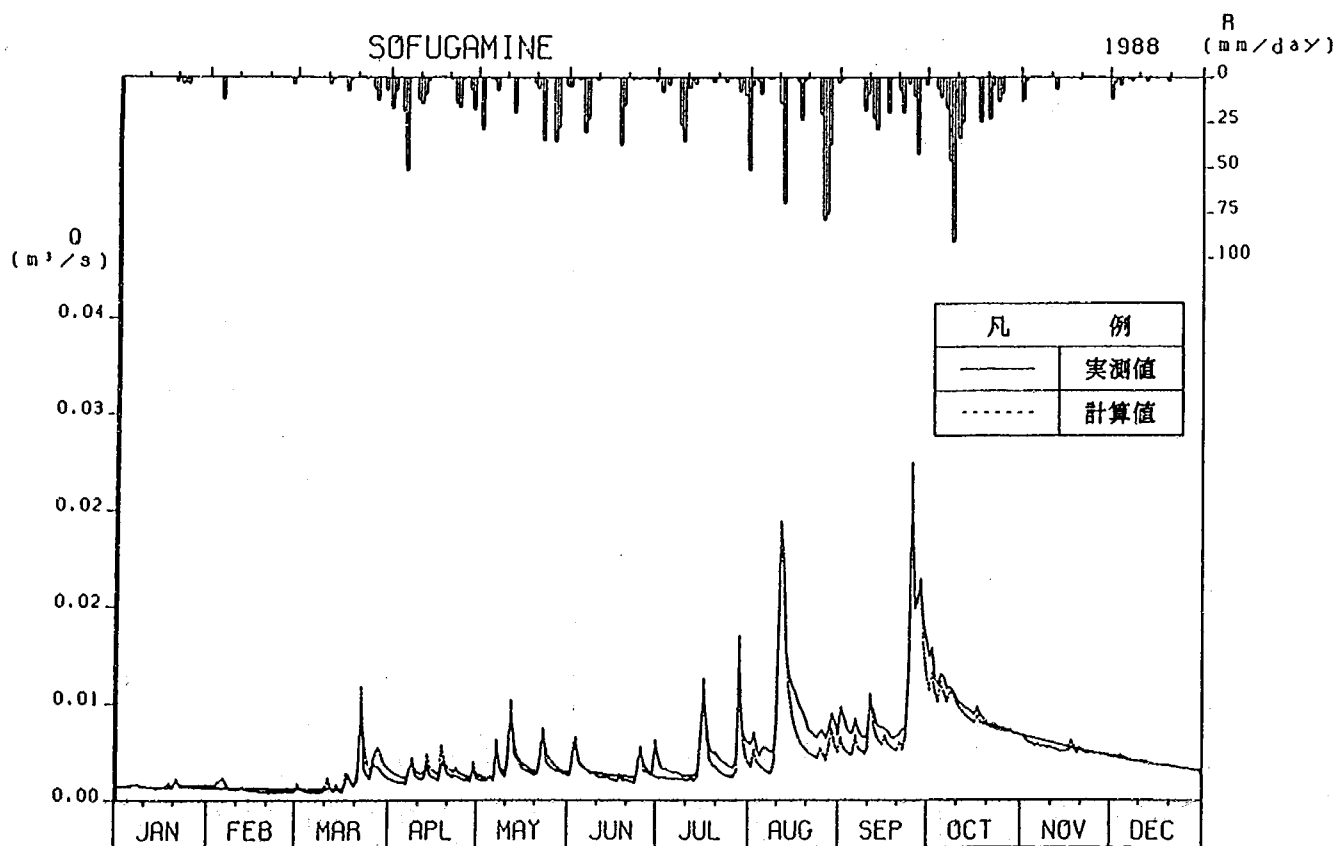


図 5.8 (6) 祖父ヶ峰 日単位の流出解析結果 (1988 年)

表 5.4 (1) 実測流出高と計算流出高の比較 (山口) 単位mm

年	平均雨量	流 出 高		損 失 雨 量		蒸発散量
		実測値	計算値	実測値	計算値	
1984	1001	560	524	441	477	627
1985	1638	787	892	851	746	651
1986	1429	811	792	618	637	616
1987	1119	531	559	588	559	656
1988	1755	1064	1014	691	741	636
平均	1388	751	756	638	632	637

表 5.4 (2) 実測流出高と計算流出高の比較 (祖父ヶ峰) 単位mm

年	平均雨量	流 出 高		損 失 雨 量		蒸発散量
		実測値	計算値	実測値	計算値	
1984	988	363	342	625	646	839
1985	1626	573	590	1053	1036	871
1986	1443	582	552	861	891	823
1987	1070	315	324	755	746	877
1988	1743	761	725	982	1018	851
平均	1374	519	503	855	867	852

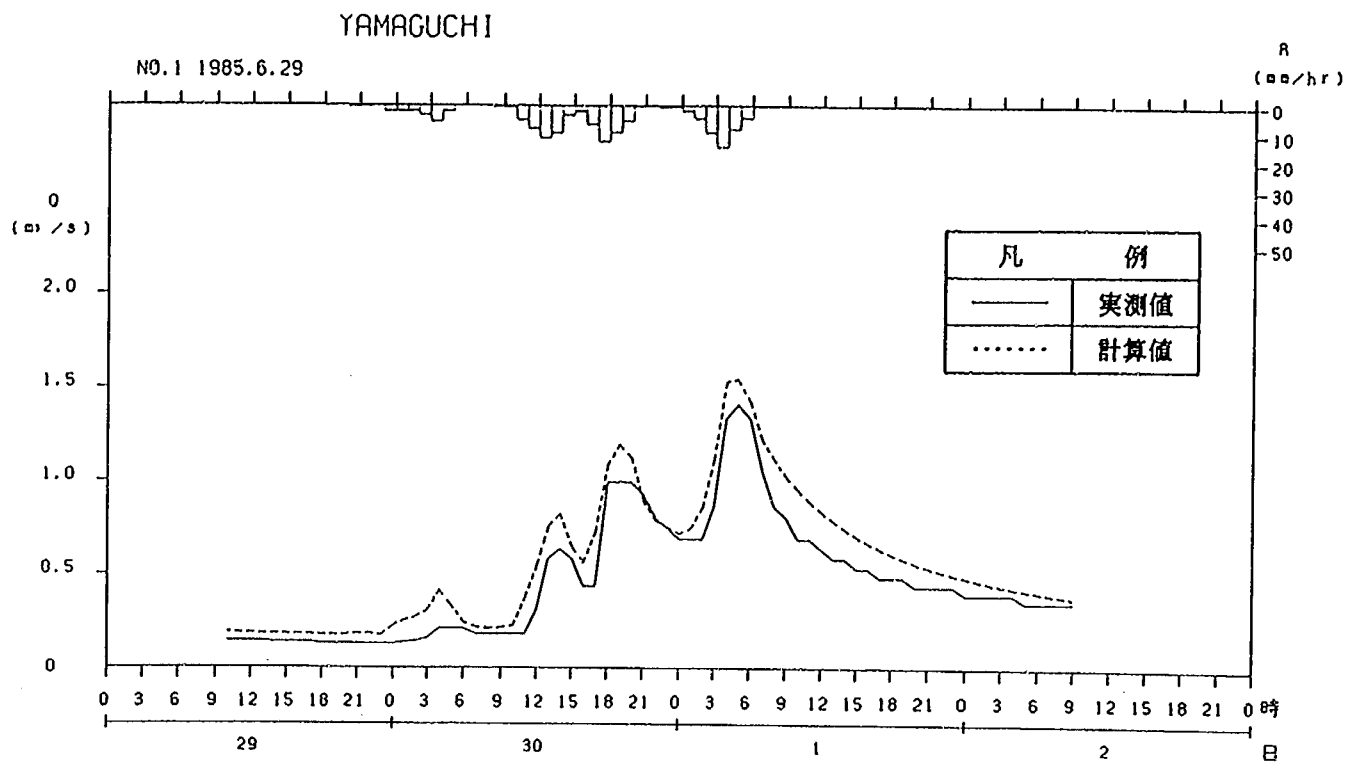


図 5.9 (1) 山口 時間単位の流れ解析結果 (85.6.29)

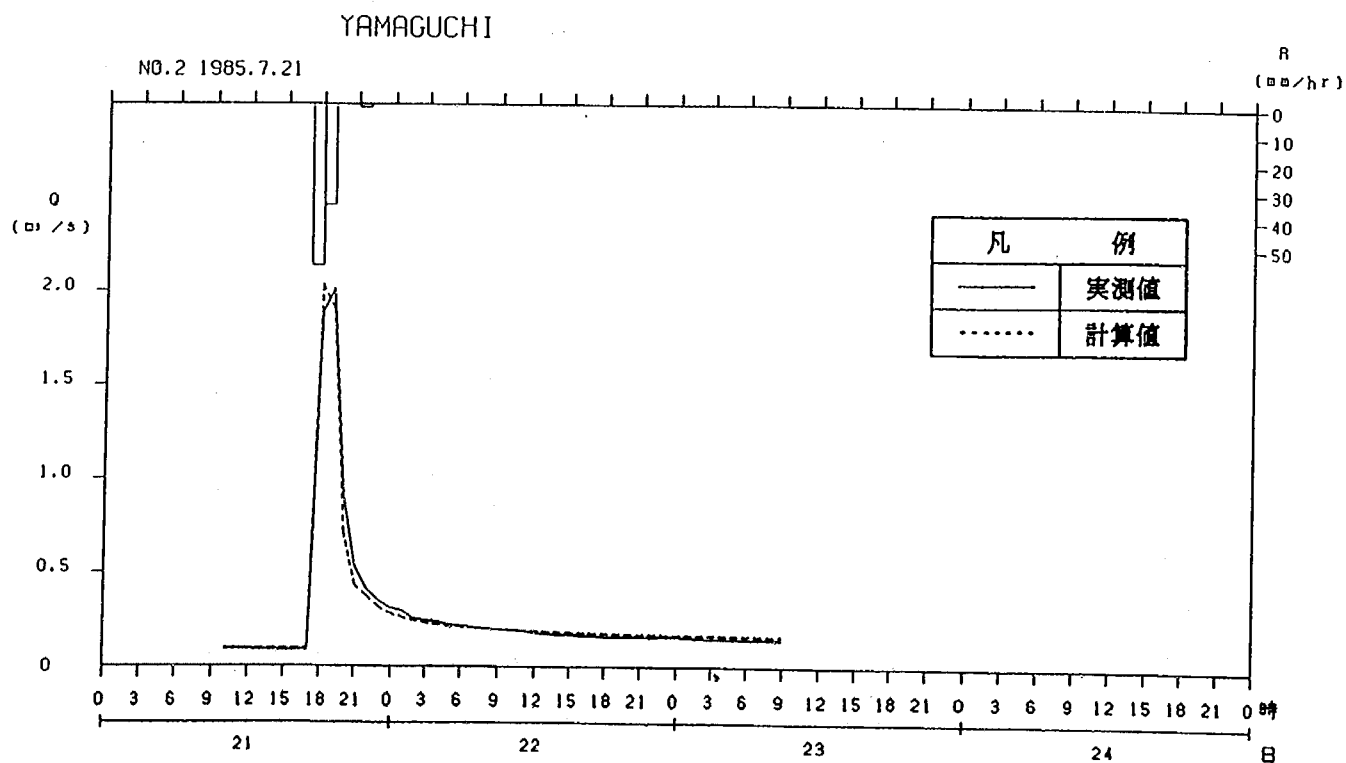


図 5.9 (2) 山口 時間単位の流れ解析結果 (85.7.21)

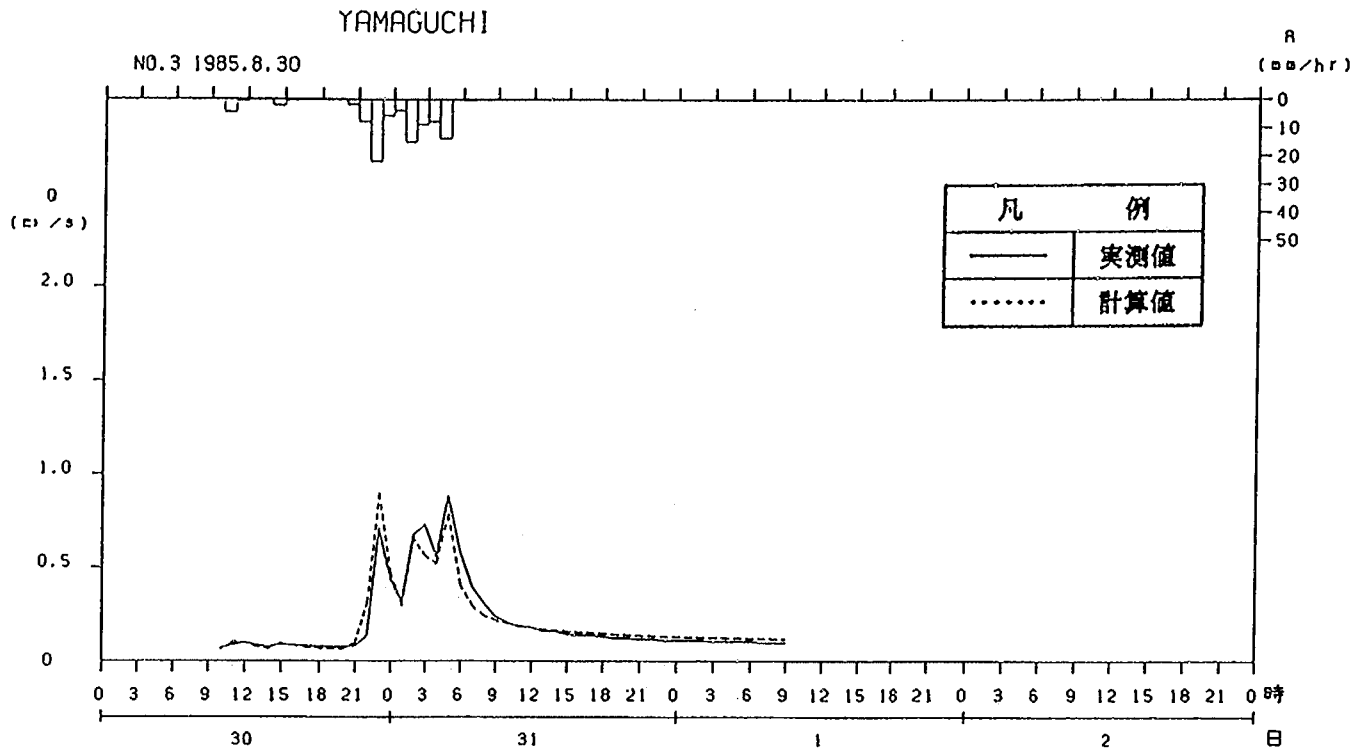


図 5.9 (3) 山口 時間単位の流れ解析結果 (85.8.30)

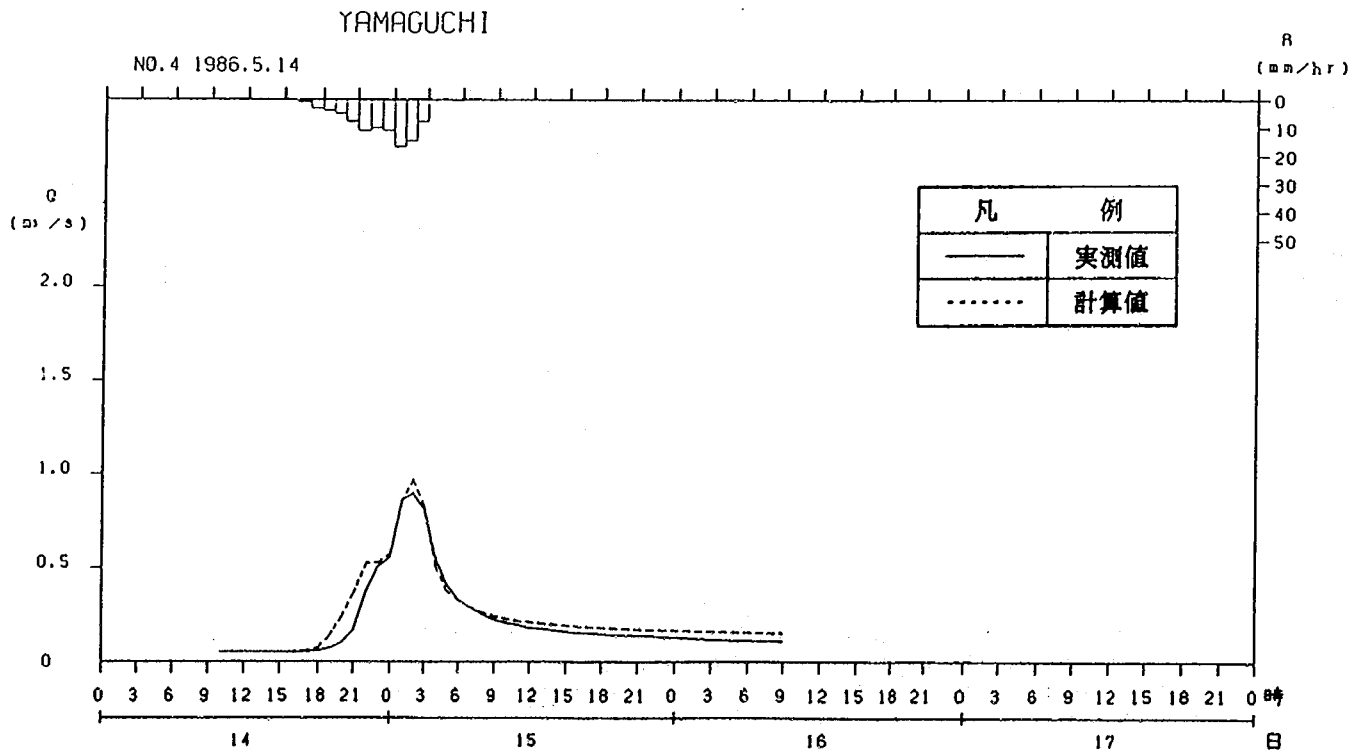


図 5.9 (4) 山口 時間単位の流れ解析結果 (86.5.14)

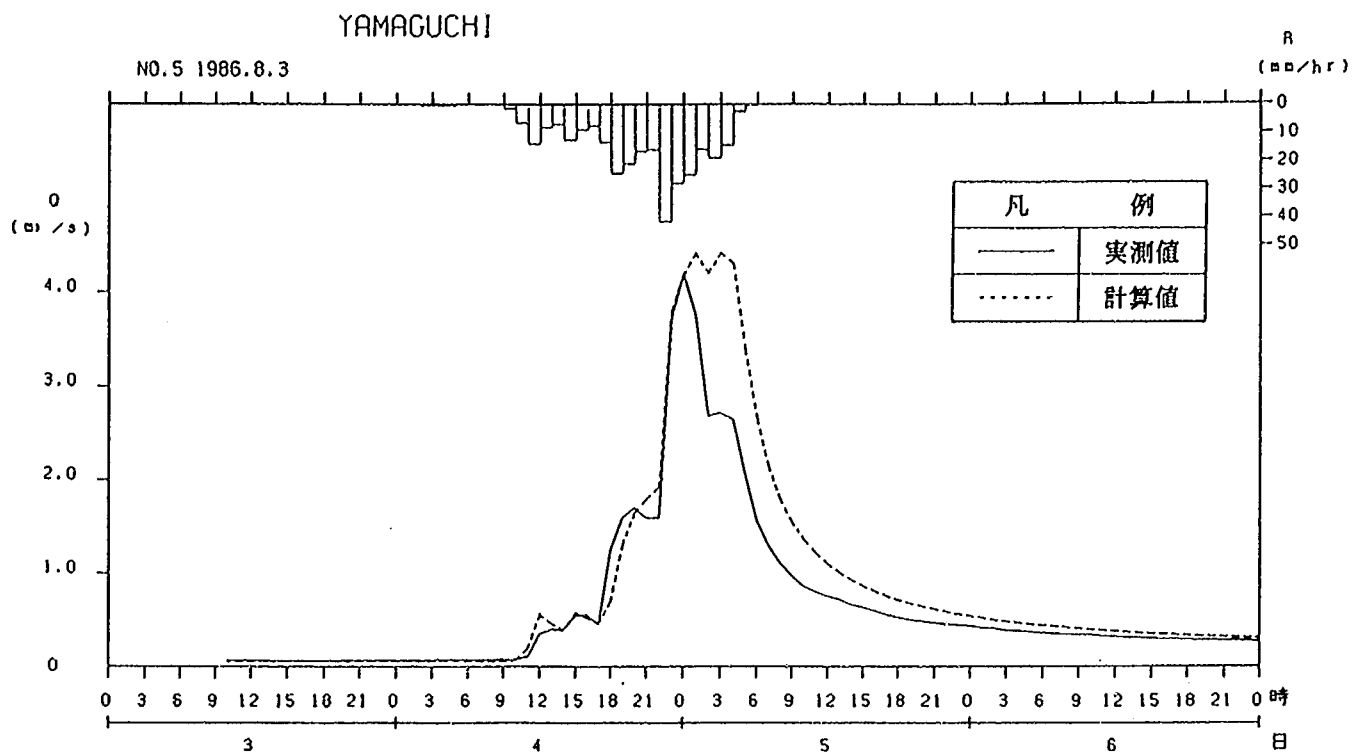


図 5.9 (5) 山口 時間単位の流れ解析結果 (86.8.3)

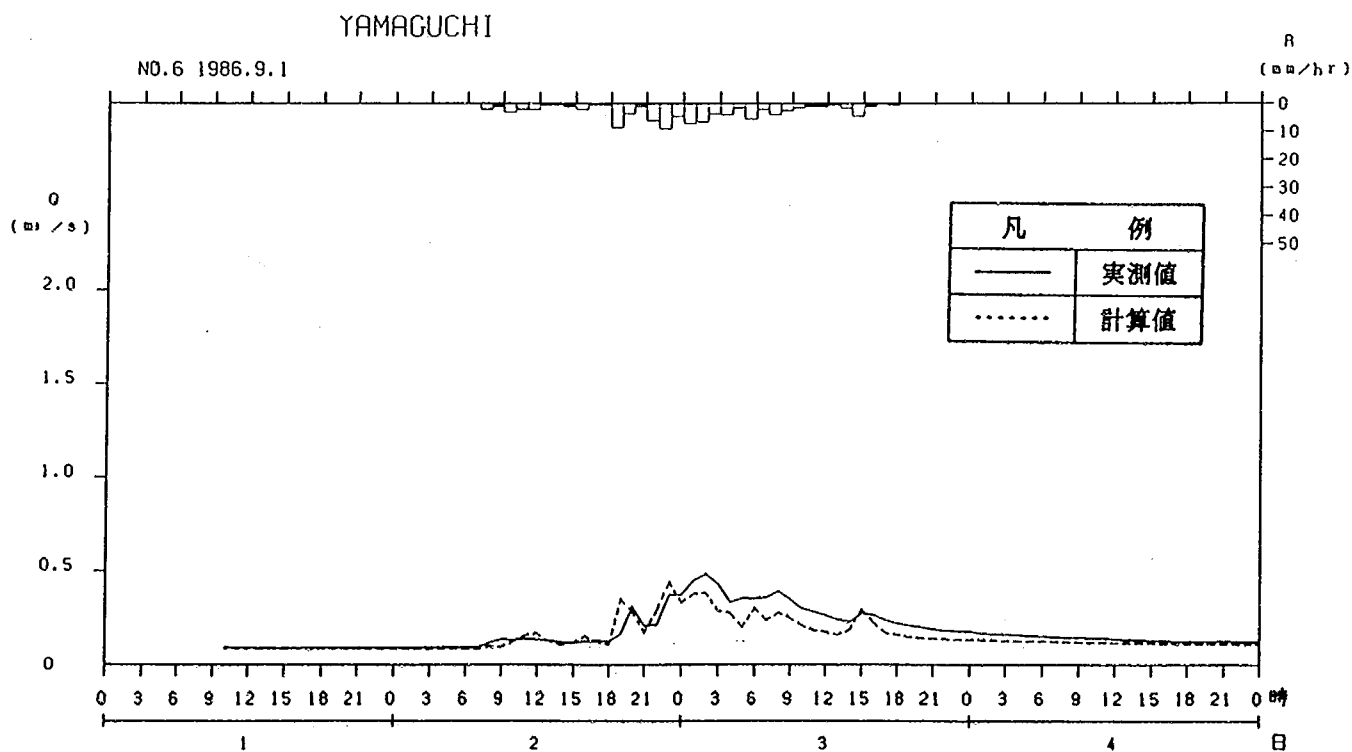


図 5.9 (6) 山口 時間単位の流れ解析結果 (86.9.1)

YAMAGUCHI

NO.7 1988.9.23

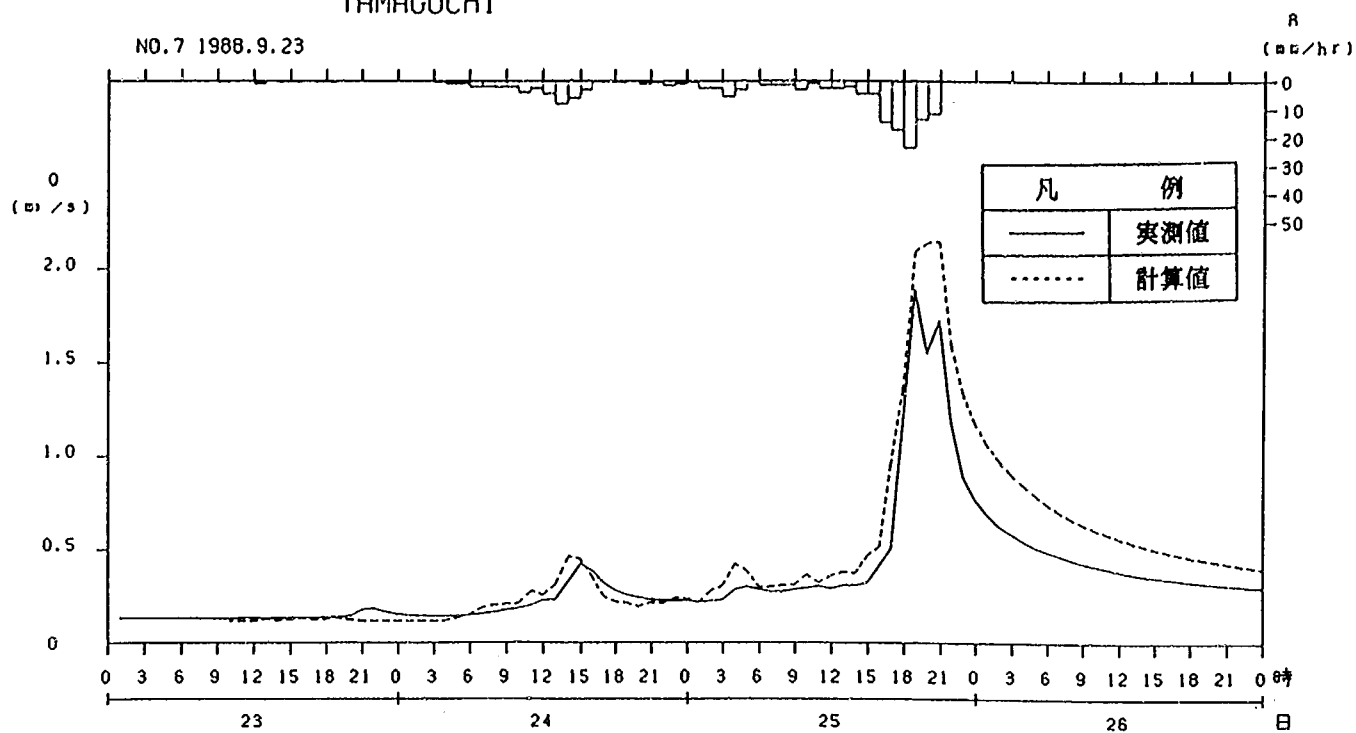


図 5.9 (7) 山口 時間単位の流出解析結果 (88.9.23)

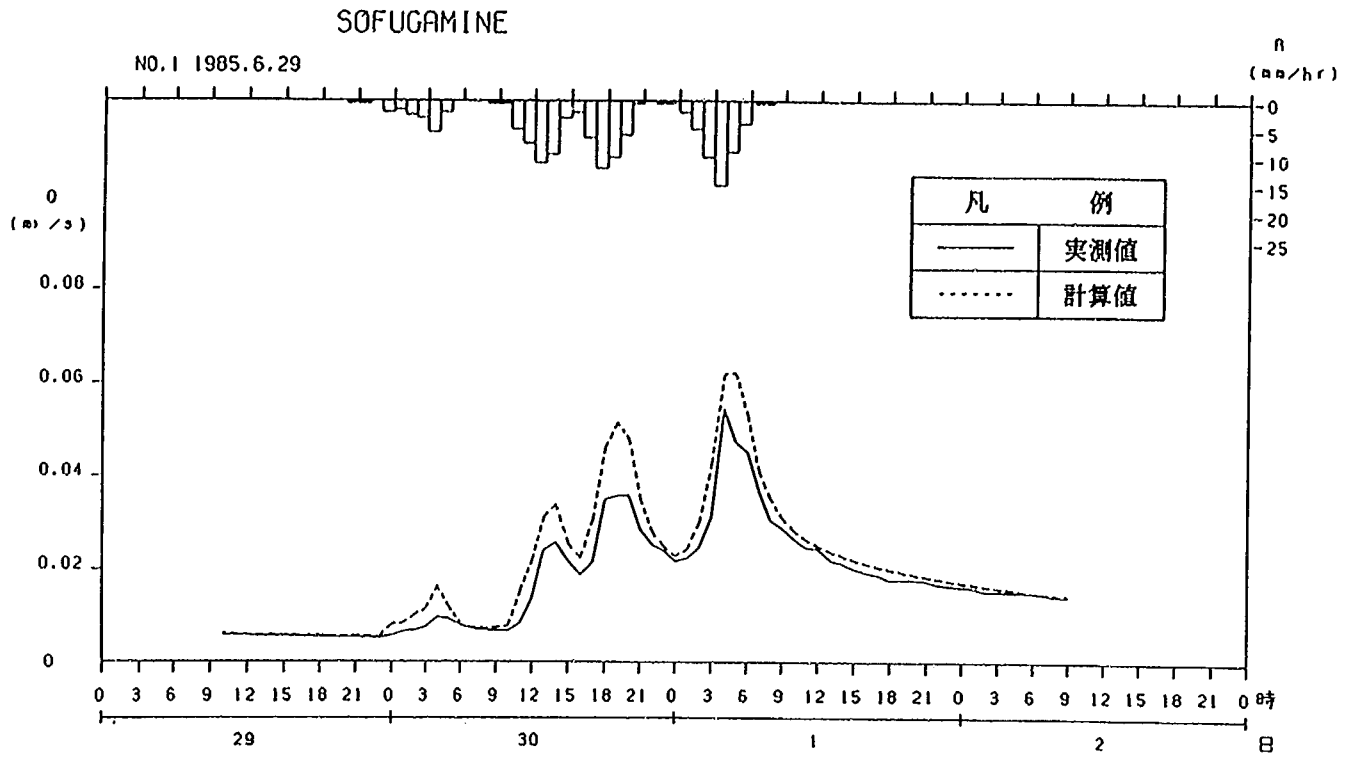


図 5.10 (1) 祖父ヶ峰 時間単位の流出解析結果 (85.6.29)

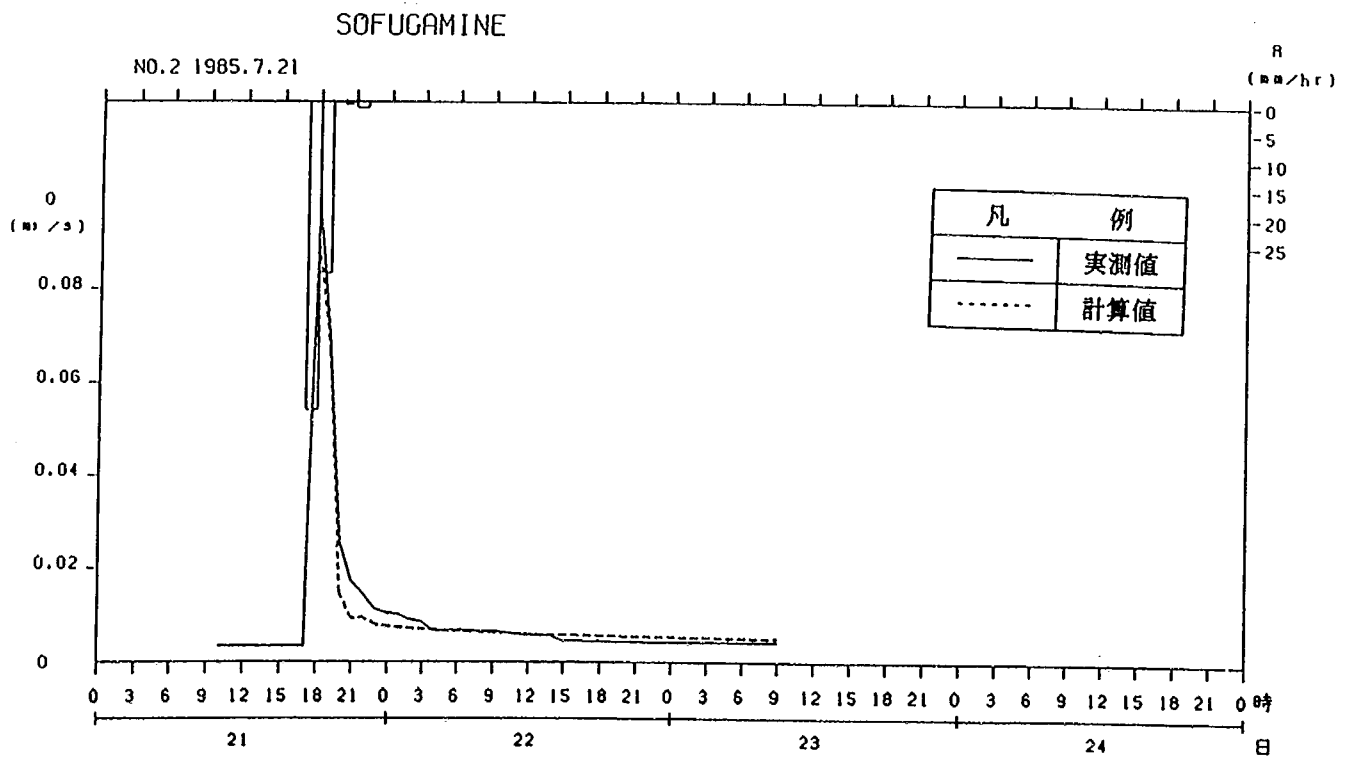


図 5.10 (2) 祖父ヶ峰 時間単位の流出解析結果 (85.7.21)

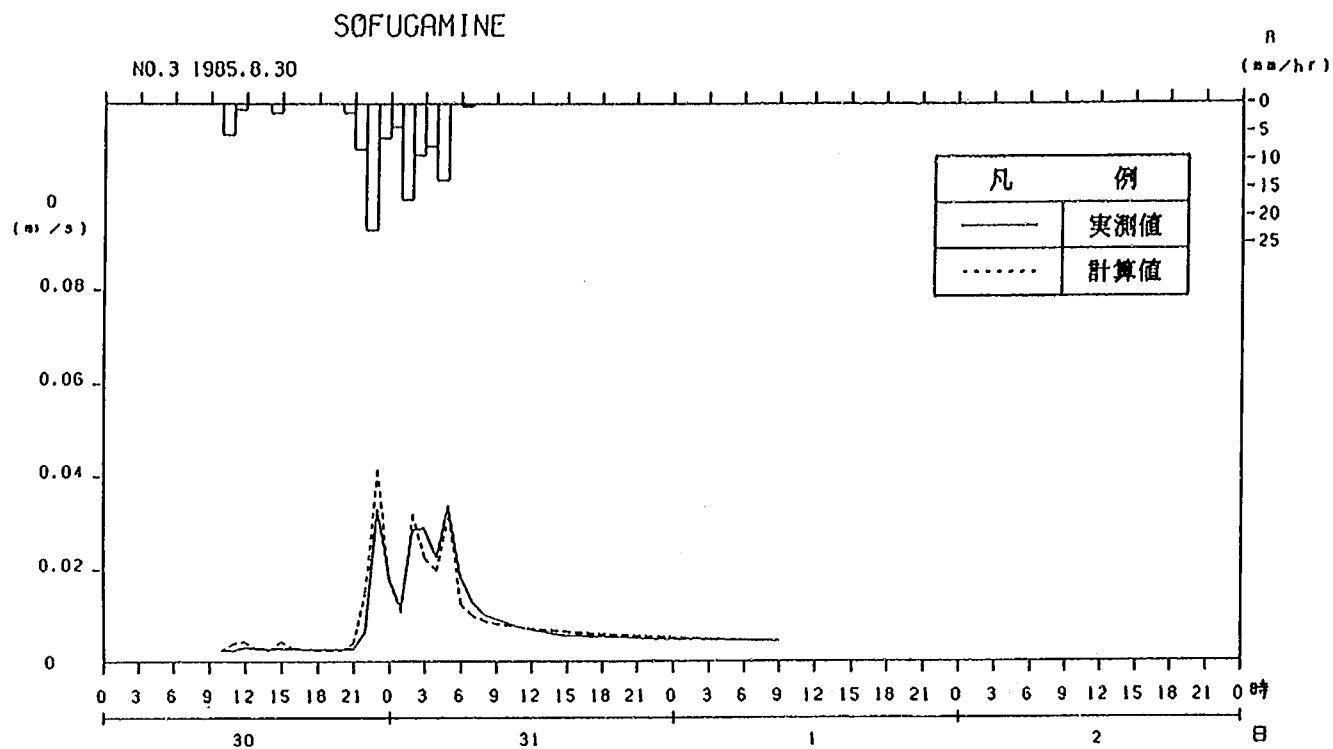


図 5.10 (3) 祖父ヶ峰 時間単位の流れ解析結果 (85.8.30)

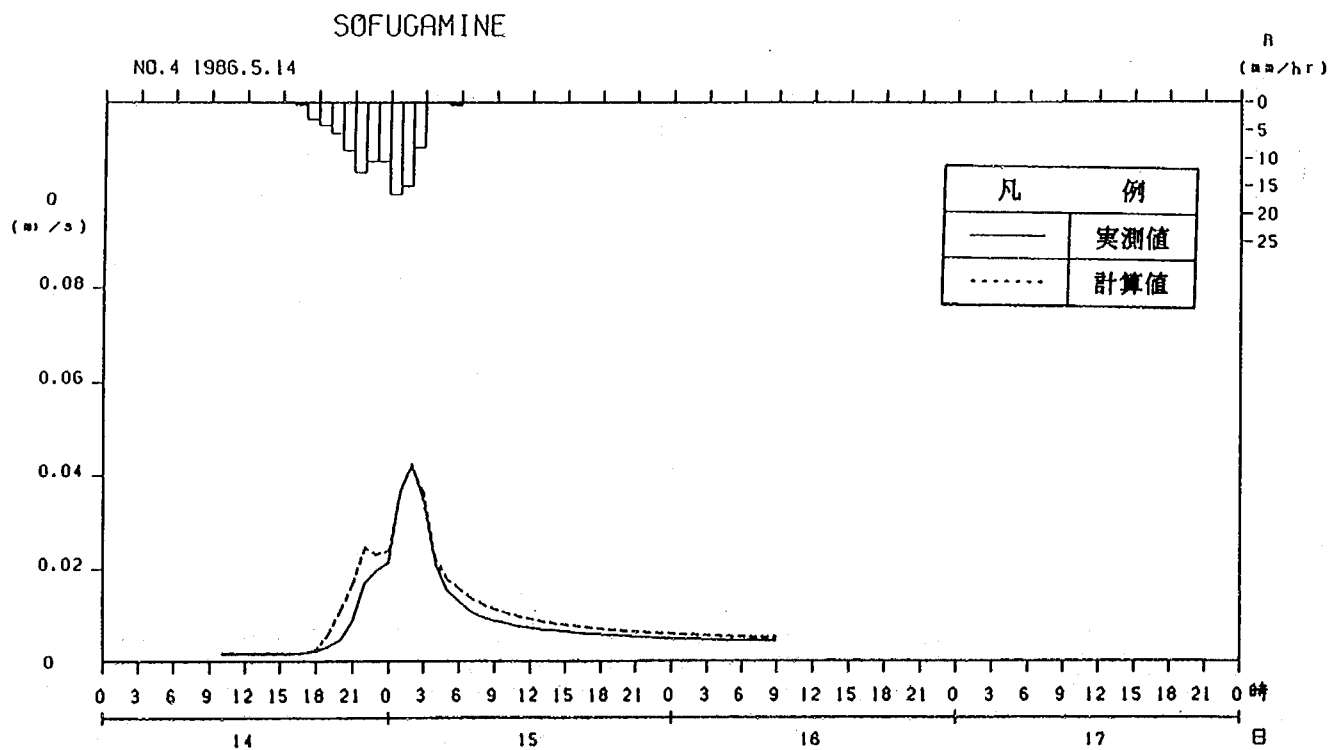


図 5.10 (4) 祖父ヶ峰 時間単位の流れ解析結果 (86.5.14)

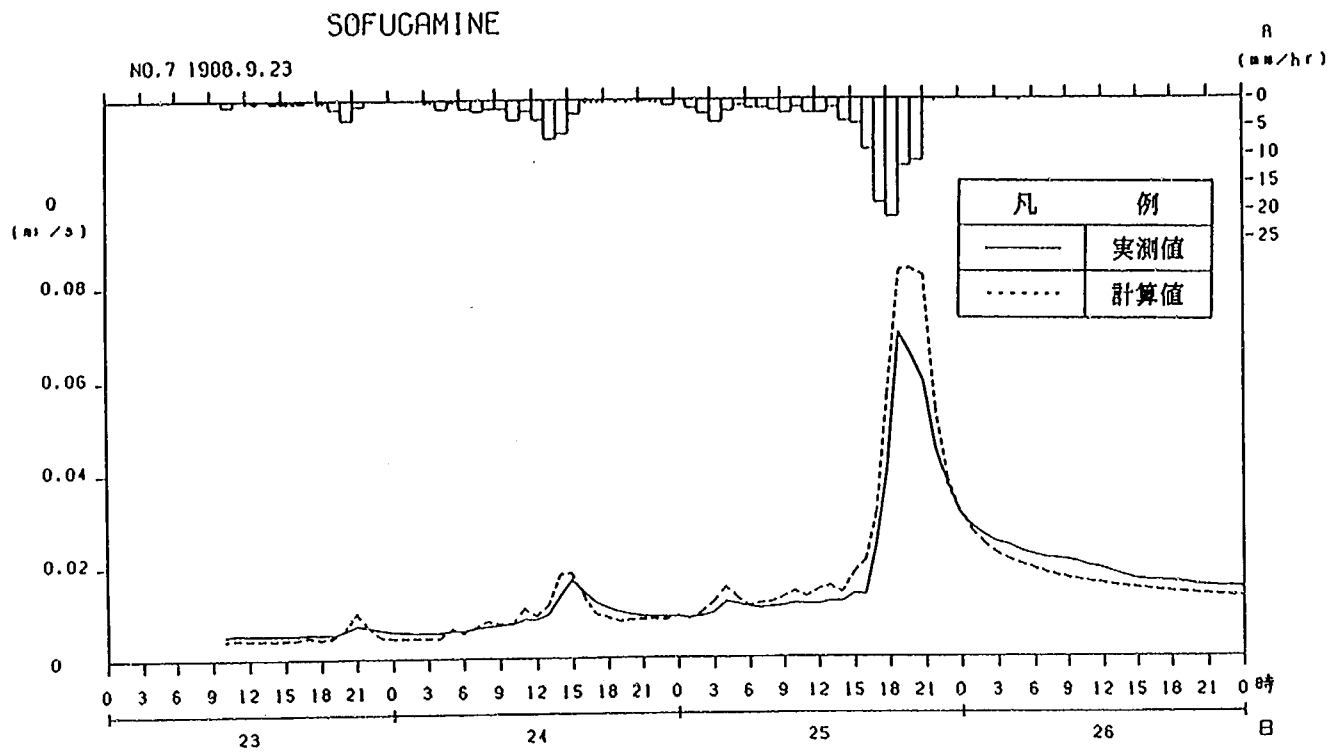


図 5.10 (7) 祖父ヶ峰 時間単位の流出解析結果 (88.9.23)

裏筑波流出試験地調査成果
報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2959号
平成3年3月(1991)

益倉克成, 吉野文雄, 吉谷純一
深見和彦, 堀内輝亮, 山邊 満

要 旨

裏筑波流出試験地は昭和44年より水文観測が開始され現在に至るまで継続して調査・研究がおこなわれている。本報告は、当試験地に関する資料、降雨流出特性、蒸発散量の解析結果、流出過程の測定結果、モデルによる解析結果についてとりまとめたものである。

キーワード：裏筑波流出試験地，流域資料，降雨流出特性，分布型流出モデル



郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部水文研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2959 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印